

XYZ

Association
Française de
Topographie

ISSN 0290 9057
15^e année



56

3^e trimestre 1993

125 F.



Antenne de réception par satellite à PLEUMEUR-BODOU (22). Ce type de structure d'une taille supérieure à 10 m et exposé au vent nécessite des contrôles fréquents. Ceci est rendu possible par le système MONMOS. (Voir article page 68).

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

• André BAILLY

REDACTEUR EN CHEF

• Michel SAUTREAU

COMITE DE LA REVUE

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

COMITE DE LECTURE

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

MAQUETTE ET MONTAGE

• Jack BIQUAND

PUBLICITE

• Robert CHEVALIER

ABONNEMENTS

• Mme CABANETTES

CORRECTEUR

• Jean-Marie THIRIET

**IMPRIMERIE MODERNE
USHA**
AURILLAC 15001
Tél. : 71.63.44.60

Revue de l'Association Française de Topographie

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

**Tél. : 43.98.84.80
Fax : 47.53.07.10**

PERMANENCE :

**10 h - 12 h : MARDI
VENDREDI**

ISSN 0290 - 9057

*Trimestriel - le numéro : 125 F.
Abonnement d'un an : France
Europe (voie terrestre) : 460 F.
Etranger (avion, frais compris) :
480 F.*

*L'AFT n'est pas responsable des
opinions émises dans les confé-
rences qu'elle organise ou les ar-
ticles qu'elle publie.*

*Tous droits de reproduction ou
d'adaptation strictement réservés.*

1993 3^e trimestre

N° 56

SOMMAIRE

- EDITORIAL.....	3
- INFO-ACTUALITES.....	5
- METROLOGIE INDUSTRIELLE	
• Evaluation des paramètres liés aux mouvements spatiaux d'un objet le long d'un axe, développement software et applications <i>par Pierre Grussenmeyer, Rainer Jäger, Francis Klumb.....</i>	11
- GEODESIE	
• La géodésie au service de l'exploitation des aérodromes <i>par Pierre Bijou.....</i>	17
- G.P.S.	
• Avec le "Global Positioning System" on entre dans le XXI ^e siècle. Un point précis sur le G.P.S. <i>par Bruno Waitzmann.....</i>	23
- SIG	
• Ouvrages sur les SIG.....	30
• Informatisation du plan cadastral en Savoie.....	31
• La qualité des données géographiques <i>par Henri Pornon.....</i>	33
- DU COTE DE...	
Géomètres Sans Frontières (spécial Bolivie).....	40
- HISTOIRE	
• L'astrolabe <i>par Raymond d'Hollander.....</i>	45
- DANS LA PROFESSION.....	65
- L'ART, LES LIVRES	
• Les prix Henri Courbot. L'exploration du Sahara (J.-M. Durou). Métro-Art dans les Métro-Poles (M. Ström). Travaux Publics de France (D. Barjot) <i>par Jack Biquand.....</i>	73
- L'ART DE VIVRE	
• Test de connaissances générales.....	79
• Récréations mathématiques <i>par Michel Sautreau.....</i>	82
• La recette XYZ <i>par Anita Sautreau.....</i>	83
- LEXIQUE TOPOGRAPHIQUE (en encarté)	
• Chapitre 8 : lever au goniographe	
- REPERTOIRE DES ANNONCEURS.....	84



AERIAL

→ consultez l'Annuaire Electronique



Nom : AERIAL
Loc. : AIX
Dépt. : 13

Editorial



Quatre d'un coup !

C'est l'exploit réussi sur le perron de l'Ecole Nationale du Cadastre à Toulouse lors du XVIII^e colloque de l'AFT les 11 et 12 juin derniers : ensemble les quatre présidents de l'histoire de l'AFT., MM. Schaffner, Bailly, Catinot et Vincent.

Ils étaient à l'un de ces rendez-vous, colloques qui jalonnent maintenant la vie de notre association, sur un vaste sujet dont on pourra mesurer l'importance et l'intérêt dans le prochain numéro d'XYZ (le 57) qui publiera les actes des interventions. Le thème en était "la valeur vénale" et il fut abordé par des professionnels de l'administration, de l'université, du barreau, de l'expertise privée ou publique, de la gestion des patrimoines. Nous en profitons pour remercier et féliciter notre ami J.-C. Locatelli pour sa parfaite organisation.

L'intérêt de cette rencontre fut rehaussé par la brillante conférence de Raymond d'Hollander dont la vice-présidence de l'AFT honore notre association. En effet, à l'occasion de la sortie de son livre "l'Astrolabe, Les Astrolabes du Musée Paul Dupuy" (de Toulouse), il mit le point d'orgue à ce colloque, point d'orgue dont nous publions le texte à ne pas manquer dans nos pages d'aujourd'hui. Au fil des ans, il s'avère indiscutablement que cet Ingénieur Général Géographe de l'IGN, qui dirigea l'Ecole Nationale des Sciences Géographiques, devient l'historien incontournable des sciences géographiques, d'autant plus que son érudition, son savoir et sa scrupuleuse exigence scientifique se doublent de talent littéraire.

L'AFT qui se targue (avec orgueil) de compter en son sein des scientifiques notoires, des professeurs éminents, des ingénieurs de haut niveau, des personnalités importantes, est heureuse et fière d'y joindre l'histoire avec un grand H.

Dans le sillage de ces satisfactions peut prendre place le thème de notre prochain colloque, le XIX^e, organisé par notre ami Gérard Bienvenu : "contrôle et assurance de la qualité en topographie et en photogrammétrie". Il se tiendra à Cachan (94) à l'ESTP les 24 et 25 novembre prochains, avec une exposition. Les objectifs de cette première manifestation en France sont de montrer la prise de conscience de la profession dans cette démarche. Des exemples concrets de méthodes de contrôle et d'organisation d'assurance seront présentés.

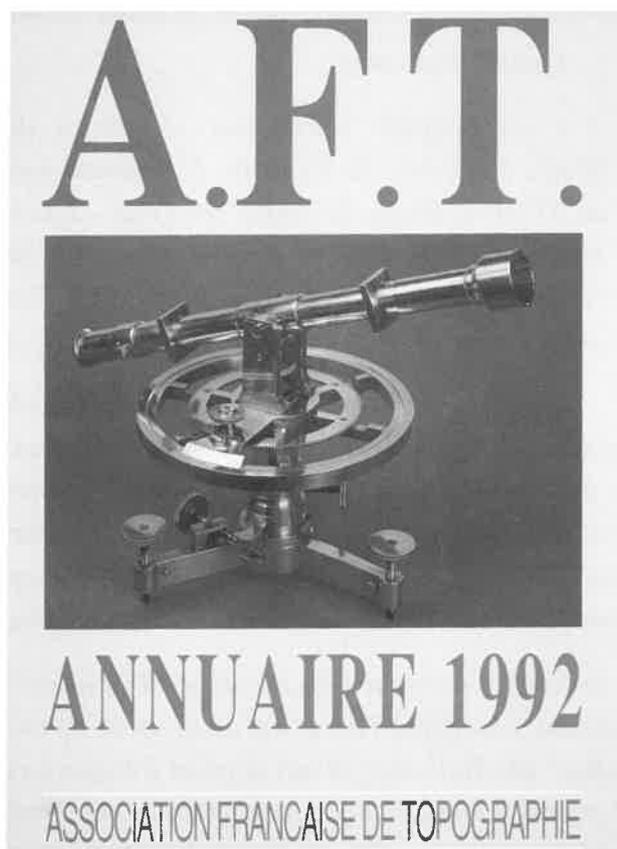
A l'issue de ce colloque, d'ailleurs, l'AFT envisage de prolonger cette prise de conscience par la création d'un "Observatoire de la Qualité en topographie et en photogrammétrie".

Nous aurons à en reparler.

xyz

Un outil de plus pour le topographe...
Un plus pour l'outil du topographe...

L'ANNUAIRE AFT 1992



Outil de travail sans équivalent pour tous ceux qui sont concernés par la topographie, que ce soit à l'échelle industrielle, des grands travaux, de l'urbanisme, ou locale pour les collectivités et les particuliers, l'annuaire AFT dont c'est la deuxième édition vient de paraître.

Ses répertoires alphabétiques, professionnels et régionaux de plus de mille professionnels sont consultés quotidiennement par des centaines d'utilisateurs. Il constitue en outre un support exceptionnel pour les messages publicitaires qui sont une mine d'adresses et d'indications. Un chapitre d'adresses utiles intéressant la profession complète de façon exhaustive les sources de renseignements.

Vous y trouverez également des informations sur l'AFT, ses buts, ses statuts, son organisation, ses différentes commissions de travail, ses manifestations nationales et internationales, et sur sa revue XYZ dont un classement thématique des articles parus vous est proposé. Ses textes souvent signés des plus grandes autorités de la profession, rendent compte de l'état des technologies et des travaux les plus récents.

Distribué gratuitement aux membres de l'association, il est en vente au prix de 450,00 Frs au siège social de l'AFT, 136 bis rue de Grenelle, 75700 Paris 07SP. Tél : (1) 43 98 84 80.

LEXIQUE TOPOGRAPHIQUE

COMMISSION D'ENSEIGNEMENT DE L'AFT. CHAPITRE 8

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

Sous la même forme vous trouverez dans ce numéro le chapitre 8 "Lever au goniographe" (planchette).

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

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

Plan général de l'ouvrage

- 1 Généralités
- 2 Mesures des longueurs
- 3 Mesures des angles horizontaux
- 4 Mesures des altitudes
- 5 Canevas
- 6 Cadastre et travaux fonciers
- 7 Lever tachéométrique
- 8 Lever au goniographe (planchette)
- 9 Implantations
- 10 Calculs
- 11 Représentation cartographique
- 12 Photogrammétrie

● DES CARTES MICHELIN SUR MACINTOSH AVEC MACMAP® DE KLIK DEVELOPPEMENT

MICHELIN et KLIK Développement viennent de signer un accord de partenariat. Il permet à KLIK Développement, éditeur de logiciels, de diffuser les cartes numérisées MICHELIN.

Cet accord, premier du genre, donne enfin la possibilité à tout utilisateur de Macintosh, de combiner, sur un outil d'une grande convivialité, la puissance et la facilité de *MacMap®* de KLIK Développement avec la richesse et la précision des bases de données cartographiques MICHELIN.

C'est l'amorce pour MICHELIN, d'une mutation significative du papier vers le numérique qui se traduira, à terme, par la mise à disposition du grand public, de bases de données cartographiques qui tireront la quintessence d'une large gamme de produits papier.

MacMap® 1.3 de KLIK Développement est né d'une idée simple : permettre de gérer ses données en associant à chaque représentation graphique (icône, ligne, surface) des données de format libre (nombre, texte, image) et créer ainsi des objets structurés, visibles et qui peuvent être facilement manipulés. MacMap® 1.3 de KLIK Développement est un outil qui combine avec originalité et puissance le dessin, la base de données et le tableur.

On peut, par exemple, chercher les points de vente situés le long de la Nationale 20 générant plus de 40% du C.A. total.

LE SUCCES DE MACMAP® 1.3 DE KLIK DÉVELOPPEMENT

MacMap® 1.3 de KLIK Développement, progiciel français, a été vendu à près de 500 exemplaires.

- les entreprises qui gèrent leur réseau de vente ainsi que leurs études de géomarketing,
- les collectivités locales et territoriales qui gèrent leurs parcelles, réseaux de fluides et équipements,
- les grands éditeurs cartographiques



● ELECTION DU BUREAU DU CONSEIL SUPÉRIEUR DE L'ORDRE DES GEOMETRES-EXPERTS

LE PRÉSIDENT JEAN LAMAISON A ÉTÉ RÉÉLU

Le Conseil Supérieur de l'Ordre des Géomètres-Experts a réélu à sa présidence Monsieur Jean LAMAISON, le jeudi 17 juin, pour un second mandat de deux ans.

Durant cette période se tiendra, à Clermont Ferrand, le 32ème Congrès des Géomètres-Experts sur le thème de l'Aménagement du territoire dans sa dimension physique et humaine.

Agé de 49 ans, Jean LAMAISON, Géomètre-Expert DPLG est installé en SCP à Arcachon (Gironde) depuis 1974.

COMPOSITION DU BUREAU DU CONSEIL SUPÉRIEUR DE L'ORDRE DES GEOMETRES-EXPERTS

ELU LE JEUDI 17 JUIN 1993.

PRÉSIDENT : Jean LAMAISON : Membre élu au Conseil Supérieur, Géomètre-Expert DPLG à Arcachon (Gironde).

PREMIER VICE-PRÉSIDENT : Jean -Louis MARTY : Membre élu au Conseil Supérieur, Géomètre-Expert DPLG à Paris.

VICE-PRÉSIDENTS : Richard PEDEZERT : Président de la région de Bordeaux, Géomètre-Expert DPLG (Gironde).

André RADIER : Président de la région de Montpellier, Géomètre-Expert DPLG à Montpellier (Hérault).

SECRÉTAIRE : Guy FRANÇOIS : Président de la région de Toulouse, Géomètre-Expert DPLG à l'Isle-Jourdain (Gers).

TRÉSORIER : Dominique LENOIR : Membre élu du Conseil Supérieur, Géomètre-Expert DPLG à Lorient (Morbihan).

votre bloc-notes

● XIXème COLLOQUE AFT Contrôle et Assurance de la Qualité en Topographie et Photogrammétrie ESTP - Cachan - 24 & 25 Novembre 1993

Sous le patronage de :
Mouvement Français pour la Qualité : MFQ-Collège de
Métrologie/Commission V de la Fédération Internationale des

Géomètres : FIG/Société Française de Photogrammétrie et de
Téléédétection : SFPT
(voir encart).

● CEIFICI

Centre d'Etudes d'Information et de Formation pour les
Ingénieurs de la Construction et de l'Industrie.

Journées d'Etudes n°398 - 5 et 6 octobre 1993

LA CONSTRUCTION ET L'ENVIRONNEMENT VISUEL

Journées d'Etudes n° 393 20 et 21 octobre 1993

LE GÉNIE CIVIL AU SERVICE DE L'EAU

EAU ET ASSAINISSEMENT -

GESTION DES RESSOURCES ET PROTECTION DE L'EAU

Bureaux et correspondance :

10, rue Washington, 75008 PARIS
Tél. : (1) 45 61 04 21 - Fax : (1) 43 59 54 54

PENTAX®

TOPOMETRIE

STATION TOTALE PCS-1 / PCS-2

LA STATION
TOUT
TERRAIN

TOUS TEMPS

Votre station totale PENTAX est votre associée de tous les jours. Fiable et maniable en toutes circonstances, elle est l'outil de travail complet sur tous les terrains, sous tous les climats.

TOUS RISQUES

Votre station totale PENTAX c'est la sécurité au quotidien par toutes les garanties qu'elle vous offre.

LA STATION TOUT PENTAX 1200 frs / MOIS

Votre station totale PENTAX c'est un contrat de location-vente sur 4 ans* pour 1200 francs par mois. C'est aussi une garantie constructeur de 4 ans, pièces et main-d'œuvre (prêt d'un matériel équivalent en cas de panne, pour cette durée). C'est également une assurance contre le vol et bris/dégâts.

**En cas d'acceptation du dossier.*

SPECIFICATIONS :

Précision angulaire.....20 cc.
Portée sur un prisme.....700 m.
Fonctions de calcul :
- Implantation.
- Coordonnées xyz.
- RDM (distance entre deux points).
- REM (hauteur points inaccessibles).

PENTAX FRANCE S.A.

12 Rue Amboise Croizat
95100 Argenteuil
Tél : (1) 39 82 50 24
Fax : (1) 39 82 57 96

AGENCE DE LYON

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



JOURNEES SIG ESGT / IETI

18 janvier 1994

Matin : Monsieur LECOUTEUX, SCP Séchet-Lecouteux (Maine & Loire)
- Expérience de SIG dans une entreprise de l'agro-alimentaire.

Après-midi : Monsieur FAVIER - SCP Favier Armillon (Loire)
- Expérience de SIG en collectivité : commune de Mably.

19 janvier 1994

Matin : Monsieur CLOG (Haut-Rhin)
- Expérience de SIG sur site industriel de la chimie. Interconnexion avec le système de contrôle et de sécurité, avec chaînes de production, ouverture vers le CIM.

Après-Midi : Monsieur BILICKI (Hérault)
- Expérience de SIG en collectivité : commune de Saint Georges d'Orque.

20 janvier 1994

Matin : Monsieur MARIEL (Paris)
- Gestion de patrimoine privé immobilier.

Après-Midi : Monsieur ALLARD (Maine & Loire)
- Expérience de SIG en collectivité : commune de Doué la Fontaine.

CONTEXTE DES INTERVENTIONS

Lieu : grand amphithéâtre de l'ESGT à EVRY (Essonne)

Durée : 3 heures environ.

Déroulement de chaque intervention :

- ⇒ Présentation du projet (1 heure environ)
- ⇒ Démonstration de l'application (½ heure),
- ⇒ Pause,
- ⇒ Point de vue de l'animateur et lancement du débat (½ heure),
- ⇒ Débat avec les participants (1 heure environ).

Pour tout renseignement, contacter :

ESGT - M. KASSER	(1) 60.77.97.40
IETI - M. PORNON	85.39.40.80

● POLYTECH'93 - 8 et 9 décembre 1993

Concerne les secteurs de la topographie, de l'électrotechnique et de l'électronique industrielle, du génie civil, du génie climatique et énergétique, du génie mécanique, de la mécatronique, et de la plasturgie.

A cette occasion seront également invités géomètres-experts et entreprises concernées par la topographie.

E.N.S.A.I.S.

B.d.E. E.N.S.A.I.S.

24 Boulevard de la Victoire 67084 STRASBOURG

Téléphone : 88 52 14 04

Fax : 88 37 97 33

Inscrit Minicom-3612

● EXPOSITION

AUTOUR DU MONDE : JEAN BRUNHES

REGARDS D'UN GEOGRAPHE REGARDS DE LA GEOGRAPHIE

26 juin 1993 - 27 mars 1994

Espace Départemental

ALBERT KAHN

Jardins et Collections - dept. Hauts - de - Seine

● F.I.G. XX CONGRESS



International Federation of Surveyors

Fédération Internationale des Géomètres

Internationale Vereinigung der
Vermessungsingenieure

5 - 12 March 1994
MELBOURNE AUSTRALIA

● CNIG (136, bis Rue de Grenelle - 75700 PARIS) CONSEIL NATIONAL DE L'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE

VIENT DE PARAÎTRE

CATALOGUE DES SOURCES D'INFORMATIONS GÉOGRAPHIQUES NUMÉRIQUES de Niveau National - Edition Juin 1993

A PARAÎTRE : SEPTEMBRE 1993

Guide économique et méthodologique des systèmes d'information géographique (les SIG) par **Michel Didier** - Editions HERMES.

● Système d'Information Géographique GEOCOMM

EDF GDF SERVICES - DÉVELOPPEMENT ACTIVITÉS NOUVELLES

L'arrivée de l'été a été marqué, pour le Système d'Information Géographique (SIG) "GEOCOMM" d'EDF GDF SERVICES, par le **10ème contrat avec une collectivité locale !**

A la suite des communes de MOULINS (03), MAYENNE (53), PRE St GERVAIS (93), TRIPORT (77), LAMBALLE (22), St CAST LE GUILDO (22), TARNOS (40) et du SICOVAL (syndicat de 33 communes de Haute-Garonne),

les communes d'ARGENTEUIL (95) et ROCHEFORT (17) font confiance à GEOCOMM et EDF GDF SERVICES pour bâtir les fondements de leur système d'information géographique.

Contacteur Jean Pierre EVELIN

Tour EDF GDF - Cedex n°8 - 92080 Paris La Défense

Tél. : 49 02 80 80 - Télécopie : 49 02 70 80

GEOCOMM est un produit développé par EDF/GDF Services et GEOTECH

● CERCO

CREATION DU GROUPE MEGRIN : DES INSTITUTS DE CARTOGRAPHIE EUROPÉENNES COOPERENT

Le CERCO (Comité Européen des Responsables de la Cartographie Officielle) est un club dans lequel les directeurs des instituts cartographiques nationaux (tels que l'Ordnance Survey, l'Institut Géographique National, etc...) se retrouvent pour aborder des sujets d'intérêt commun. Créé en 1979, il compte 30 membres ; 12 pays de la Communauté Européenne, 6 pays d'Alliance Economique de libre échange (seul le Liechtenstein n'est pas membre) et 11 pays du centre, de l'Est et du Sud-Est de l'Europe.

Le projet MEGRIN (Multipurpose Ground Related Information Network) est de rendre plus accessible les données géographiques produites par les agences nationales de cartographie d'Europe. Cela favorisera la coopération Européenne en permettant aux personnes d'un pays donné d'avoir accès à des informations comparables disponibles dans d'autres pays.

La première étape est la signature d'un protocole d'accord entre 17 pays à Helsinki le 15 juin 1993 aux termes duquel trois projets seront développés conjointement :

- un répertoire contenant des informations sur les données géographiques disponibles en Europe,
- une base de données contenant les limites de toutes les unités administratives d'Europe (jusqu'au niveau commune ou "ward" ou équivalent),
- des spécifications pour les futures informations géographiques communes de références.

Pour plus d'information, contacter :

François SALGE - Directeur Exécutif - Groupe MEGRIN

IGN-F - 136 bis rue de Grenelle - 75007 Paris Cedex

Tél. : + (33) 1 43 98 84 40

Fax : + (33) 1 43 98 84 43

● DEMANDE D'EMPLOI

J.H. - 23 ans - BT de Topographie, nombreuses expériences en milieu urbain VRD - Implantation de Précision - Polygone de Précision - Travaux Géomètres (division plan de masse...) - Stages scolaires - recherche emploi en région parisienne (93 - 94) ou Paris. Ecrire à AFT/Réf. 56.1.

● DERNIERE MINUTE

Vous êtes convié le : **Judi 7 Octobre 1993 à 15h**

à la détermination et au calcul d'un point géodésique GPS organisé par la Maison **SLOM-ESSILOR** et la Section "BT Topographe" au Lycée **GAUDIER-BRZESKA** de SAINT-JEAN de BRAYE, 195 Bld Marie Stuart - 45800 SAINT-JEAN DE BRAYE.

Pour tous renseignements, contacter Roger THOMAS

Tél. : 38 46 14 47

● NOUVELLE RAISON SOCIALE

A compter du 1er juillet la société **ARISTO GRAPHIC SYSTEME** a changé de dénomination, sa nouvelle raison sociale est **INTEGRAL TECHNOLOGIE** - 1, rue Montespan - 91024 EVRY CEDX - Tel. : (1) 64 97 81 82 - Fax : (1) 64 97 81 66

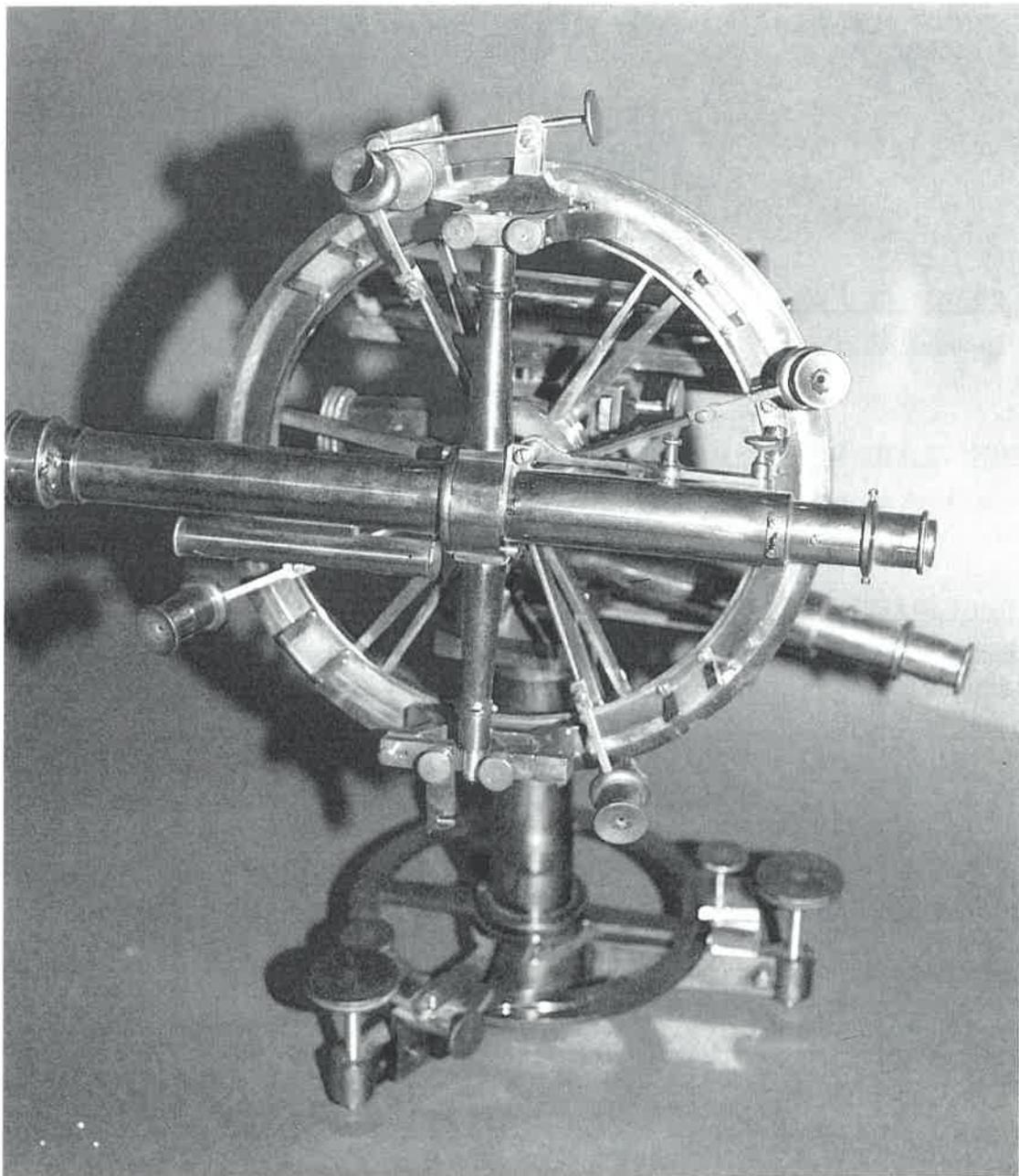
● IXème CONFÉRENCE EUROPÉENNE AM/FM

En coopération avec AFIGEO - 13 au 15 Octobre 1993, à Strasbourg - Palais de la Musique et des Congrès :

GESTION DE L'ESPACE DANS UNE EUROPE SANS FRONTIÈRES

Contacteur AM/FM International - European Division

Tél. : (+41-61) 691 51 11 ; Fax : (+41-61) 691 81 89 (Suisse).



Cercle de Gambey qui servit à la mensuration du méridien terrestre et portant sur son piétement l'indication
"Dépôt de la guerre" n° 9 - 1823"

**Instruments scientifiques, objets de marine, haute curiosité
ACHAT VENTE ECHANGE DE TOUS INSTRUMENTS ANCIENS DE GEOMETRE**

ETS DIEUTEGARD

LA FILLE DU PIRATE

Tél. 42.93.42.01

LE LOUVRE DES ANTIQUAIRES
2, place du Palais-Royal, Paris 1^{er}
(1, allée Weisweiler, sur rue St-Honoré)
Tél. 42.60.20.30

AUX ARMES DE FURSTEMBERG
1, rue Furstemberg
(angle 3, rue Jacob) Paris 6^e
Tél. 43.29.79.51

PROMENADE DES ANTIQUAIRES
7, promenade des Anglais
(sur rue Masséna) 06 NICE
Tél. 93.82.00.02



PROCHAINES SESSIONS DE FORMATION

① Mise en oeuvre d'un SIG dans une petite collectivité (SIG PC)

Etude de faisabilité réalisée avec les participants : besoins, données, logiciels, montage du projet, coûts, délais, méthode.

② Données et Applications dans les SIG des petites collectivités (D & A)

Définition des applications et présentation des applications du marché, modélisation des données, aspects contractuels.

③ SIG pour le secteur privé (PRIVE)

Géomarketing, gestion de patrimoine, gestion de sites industriels, transports : quels besoins, quels outils (logiciels, données).

STAGE SIG PC	STAGE D & A	STAGE PRIVE
LYON 03 et 04 / 11 / 1993	NANCY 16 et 17 / 11 / 1993	LILLE 25 et 26 / 01 / 1994
ORLEANS 14 et 15 / 12 / 1993	MONTPELLIER 11 et 12 / 01 / 1994	LYON 22 et 23 / 02 / 1994
MARSEILLE 06 et 07 / 04 / 1994	NANTES 22 et 23 / 03 / 1994	PARIS 01 et 02 / 03 / 1994
	MACON 17 et 18 / 05 / 1994	BORDEAUX 03 et 04 / 05 / 1994

Modalités communes

Session de deux jours, regroupant 6 à 10 participants.

Coût : 4 744,00 F TTC, y compris déjeuner et support de cours. Prise en charge FAFPL possible;

④ Réunions d'information (une journée à la demande)

- ⇒ Offre logicielle en matière de SIG et de CAO/DAO liée aux SIG.
- ⇒ Les échanges de données géographiques et le format EDIGEO.
- ⇒ Assurance qualité et production de données géographiques.

Remarque

D'autres sessions ou des réunions d'informations peuvent avoir lieu à la demande pour un groupe constitué de 6 à 8 personnes.

MÉTROLOGIE INDUSTRIELLE

Evaluation des paramètres liés aux mouvements spatiaux d'un objet le long d'un axe, développement-software et applications

Pierre Grussenmeyer, Rainer Jäger, Francis Klumb

L'estimation des paramètres géométriques relatifs à la description du mouvement spatial d'un corps indéformable le long d'un axe comporte de nombreuses applications dans le domaine de la métrologie industrielle. L'observation à des instants différents d'un semis de points matérialisés finement sur l'objet suivi à partir d'un système de mesures adéquat (couple de théodolites en observations simultanées, installation photogrammétrique...) fournit les informations brutes initiales, traitées à l'aide d'un logiciel de compensation de réseaux tridimensionnels. Pour la description d'un mouvement relatif à un axe et l'écriture du programme AXE, le modèle classique de Gauss-Helmert est transformé en modèle de Gauss-Markov. Pour cela on introduit de nouvelles inconnues dans la compensation, qui sont les coordonnées compensées des points-objets issus de l'une des époques arbitrairement choisie. Cette dernière est appelée époque de référence et tous les paramètres de rotation ω et de translation t sont toujours définis par rapport à la position spatiale qu'occupe l'objet dans cette époque.

1. INTRODUCTION ET ÉNONCÉ DU PROBLÈME

L'analyse tridimensionnelle des déformations d'objets, ou le suivi du déplacement spatial d'un corps dans un référentiel donné, est de plus en plus le ressort du topographe. Du fait des précisions requises, une telle étude nécessite l'emploi de procédés de mesures particuliers ainsi que l'utilisation d'instruments adéquats. Mais elle fait appel avant tout à des techniques de calculs très développées, permettant d'exploiter au mieux les mesures acquises. L'étude présentée ici concerne la détermination des paramètres liés aux mouvements de translation et (ou) de rotation d'un corps le long d'un axe. Afin de mieux cerner le problème mathématique à traiter, nous pouvons nous inspirer des systèmes de mesures tels qu'ils se présentent en métrologie industrielle pour le suivi de corps mobiles le long d'un axe spatial (fig. 1). Considérons désormais l'aspect géométrique du problème à partir du schéma ci-dessous : l'objet est observé à des instants (= époques différentes) à partir de stations dont les coordonnées sont déterminées dans le système local commun. Un certain nombre de points de référence R_i sont également observés à chaque fois, et leur stabilité au cours du temps est vérifiée ultérieurement par les calculs de compensation du réseau tridimensionnel ainsi formé. Les points stationnés S_i et les points d'appui R_i établissent le lien indispensable entre les diverses époques. Des points E_i constituant une ou plusieurs bases de longueur connue, sont également observés afin de permettre la mise à l'échelle précise du réseau : dans la pratique, ces points peuvent être par exemple les extrémités d'une stadia maintenue horizontalement, et placée dans une zone d'observation favorable. Finalement après traitement de l'ensemble des mesures brutes effectuées, on obtient les valeurs les plus probables des coordonnées (x, y, z) des points-objets, ainsi que leurs précisions affichées dans la matrice des variances-covariances des inconnues

$$X_1 = \begin{bmatrix} X_{1,1} \\ X_{1,2} \\ X_{1,p} \end{bmatrix}, X_2 = \begin{bmatrix} X_{2,1} \\ X_{2,2} \\ X_{2,p} \end{bmatrix}, \dots, X_i = \begin{bmatrix} X_{i,1} \\ X_{i,2} \\ X_{i,p} \end{bmatrix}, \dots, X_n = \begin{bmatrix} X_{n,1} \\ X_{n,2} \\ X_{n,p} \end{bmatrix} \text{ avec } X_{j,i} = \begin{bmatrix} x_{j,i} \\ y_{j,i} \\ z_{j,i} \end{bmatrix} \quad (1-1)$$

de cette compensation préalable. On peut ainsi présenter les coordonnées de ces points, considérées, désormais comme des observations fictives, sous la forme de "n" vecteurs correspondant aux "n" époques de la manipulation :

La notation $(x_{j,i}; y_{j,i}; z_{j,i})$ décrit les coordonnées du point d'indice "j" observé à l'époque "i". Il n'y a pas de restriction qui impose un nombre constant "p" de points-objets par époque dans le programme AXE et sa flexibilité d'utilisation s'en trouve nettement améliorée.

2. MODELE MATHÉMATIQUE

2.1 Géométrie relative aux mouvements spatiaux d'un corps rigide le long d'un axe

En négligeant les déformations d'un corps rigide donné, muni de "p" points-objets $X_{j,i} = (x_{j,i}; y_{j,i}; z_{j,i})$ dans la j^{ème} époque, on parvient à décrire de façon similaire pour tous les points $X_{j,i}$, son mouvement spatial entre deux états successifs $x_{j,i}$ et $x_{j,i+1}$ de son évolution (époques "i" et "i+1"), selon divers modèles autorisant l'évaluation des paramètres géométriques du mouvement recherché. Dans la plupart des cas, le mouvement des points-objets $X_{j,i}$, $j = 1, p$ (fig.1) est décomposé en une

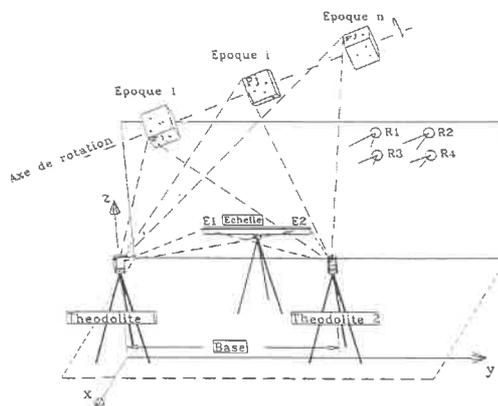


Fig. 1 : Système usuel de mesure en métrologie industrielle et les points-objets décrivant le mouvement d'un corps mobile le long d'un axe.

translation t des points $X_{j,i}$ selon les grandeurs t_x, t_y, t_z dans la direction des axes de coordonnées, et en une rotation cardanique du semis de points, qui est décrit par la matrice de rotation R_k [B8].

$$X_{j,i+1} = R_k \cdot (X_{j,i} + t), \text{ avec } t = \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix} \quad (2-1)$$

Une seconde modélisation arbitraire du mouvement s'obtient en remplaçant R_k (2-1) par la matrice rotation R_a relative d'Euler [B8]. Pour deux époques successives X_j et $X_{j,i+1}$ le modèle (2-1) de transformation, décrit conventionnellement par les matrices R_k ou R_a , peut être représenté de manière équivalente par le modèle :

$$X_{j,i+1} = R_a(r_x, r_y, r_z, \omega) \cdot (X_{j,i} + t) \quad (2-2a)$$

avec

$$R_a = \begin{bmatrix} (1-r_x^2)\cos\omega + r_x^2 & r_x r_y(1-\cos\omega) + r_z \sin\omega & r_x r_z(1-\cos\omega) - r_y \sin\omega \\ r_x r_y(1-\cos\omega) - r_z \sin\omega & (1-r_y^2)\cos\omega + r_y^2 & r_y r_z(1-\cos\omega) + r_x \sin\omega \\ r_x r_z(1-\cos\omega) - r_y \sin\omega & r_y r_z(1-\cos\omega) - r_x \sin\omega & (1-r_z^2)\cos\omega + r_z^2 \end{bmatrix} \quad (2-2b)$$

Du point de vue mathématique les matrices R_k, R_e et R_a -même paramétrisées différemment- sont identiques. Le développement mathématique littéral des éléments de la matrice de rotation R_a , réalisé sur la base de transformations de coordonnées, figure dans [B5] et [B9]. Celui-ci allie une translation t (2-1) à une rotation autour de l'axe de rotation défini par le vecteur directeur normé r . Le nombre de degrés de liberté "f" permettant la description du mouvement de rotation axial, s'établit comme pour (2-1) à $f = 6$. Les 7 paramètres correspondants du modèle s'écrivent, ensemble avec la condition que r soit normé :

$$y^T = (r_x, t_x, r_y, \omega, t_y, t_z) \text{ et } r_x^2 + r_y^2 + r_z^2 = 1 \quad (2-3a, b)$$

Si l'on transforme le vecteur translation t (2-2a) accompagnant la rotation axiale, ou, plus généralement, tout mouvement de corps rigide entre 2 époques "i" et "i+1", dans un système de coordonnées dont l'axe z possède la direction r (2-2b), la relation (2-2a) pourra s'écrire après une série de calculs intermédiaires comme le

$$X_{j,i+1} = R_a \cdot X_{j,i} + (I - R_a) \cdot a + \tau \cdot r$$

avec

$$y^T = (r_x, r_y, r_z, \omega, a_x, a_y, a_z, \tau) \quad (2-4a, b)$$

vecteur de 8 paramètres inconnus. La grandeur scalaire τ dans y (2-4b) décrit la translation des points-objets dans la direction de l'axe r . Puisque $R_a \cdot r = r$ on peut aussi écrire (2-4a) de la manière suivante :

$$X_{j,i+1} = R_a \cdot (X_{j,i} + \tau \cdot r) - (I - R_a) \cdot a \quad (2-4c)$$

En introduisant l'égalité $X_{j,i} = a$ dans les relations (2-4a), on obtient $X_{j,i+1} = a + \tau \cdot r$. Ceci signifie ici que "a" désigne un point quelconque de l'axe. Le terme $(I - R_a) \cdot a$

permet donc de considérer, qu'après translation de $X_{j,i}$ du vecteur $\tau \cdot r$, la rotation se réalise autour d'un axe r défini non pas par le point origine (0,0,0), mais décrit par contre par un vecteur de localisation "a" arbitraire et la relation $X = a + \tau \cdot r$. La matrice de projection $(I - R_a)$, singulière, possède un défaut de rang $d = 1$, et la direction axiale r définit précisément l'espace vectoriel nul (noyau de dimension 1) de cette matrice. Ainsi le produit $(I - R_a) \cdot a$ "projette" automatiquement oubli un point quelconque désigné par "a" au point de l'axe le plus proche du point origine (0,0,0), et réduit ainsi simultanément avec la condition (2-3b) le nombre de degrés de liberté au sein du vecteur "y" contenant les huit paramètres géométriques (2-4b) du modèle (2-4a), au nombre total $= 6$ de degrés de liberté d'un corps indéformable.

2.2 Mouvement axial observé sur plusieurs époques. Passage du modèle Gauss-Helmert au modèle de Gauss-Markov

A partir du modèle Gauss-Helmert fondamental (2-4a, c), on peut décrire globalement un mouvement axial suivi sur "n" époques en écrivant une "ligne" selon (2-4a, -4c) pour chaque groupe de deux époques successives. Par suite aux imbrications successives des époques on accède au modèle de Gauss-Markov en définissant comme paramètres de références $X_{j,1}$ les observations coordonnées $X_{j,1}$ de la 1^{ère} époque. Celles-ci peuvent alors être considérées comme observations directes dans la compensation :

$$X_{j,1} + v_{j,1} = \hat{X}_{j,1} \quad (2-5a)$$

$v_{j,1}$ représente ici le vecteur des corrections appliquées aux observations coordonnées de la première époque (ou de toute autre époque de référence). Par introduction récursive dans (2-4a, -4c) et (2-5a) et en considérant la propriété $R_a \cdot r = r$, $R_a \cdot r = r$ des matrices de rotation on obtient (n-1) nouvelles équations matricielles, dont la finalité est d'avoir substitué le système du modèle de Gauss-Helmert (2-4a) par le modèle de Gauss-Markov suivant :

$$\begin{aligned} X_{j,2} + v_{j,2} &= R_{a,1,2} \cdot \hat{X}_{j,1} + (I - R_{a,1,2}) \cdot a + \tau_{1,2} \cdot r \\ X_{j,i} + v_{j,i} &= R_{a,1,i} \cdot \hat{X}_{j,1} + (I - R_{a,1,i}) \cdot a + \tau_{1,i} \cdot r \\ X_{j,n} + v_{j,n} &= R_{a,1,n} \cdot \hat{X}_{j,1} + (I - R_{a,1,n}) \cdot a + \tau_{1,n} \cdot r \end{aligned} \quad (2-5b)$$

Le vecteur y des inconnues du modèle de Gauss-Markov (2-5a, b) relatif au mouvement axial, s'écrit :

$$y^T = (r_x, r_y, r_z, a_x, a_y, a_z, \omega_{1,2}, \dots, \omega_{1,n}, \tau_{1,2}, \dots, \tau_{1,n}, x_{1,1}, \dots, x_{n,1}) \quad (2-5c)$$

Dans le cas de $n = 2$ époques, le modèle généralisé de mouvements axiaux (2-5a, b) est identique à (2-1) établi au chap. 2.1, relatif aux mouvements spatiaux de corps indéformables comportant six degrés de liberté. Pour $n > 2$ il reste - au delà de $(r_x, r_y, r_z, a_x, a_y, a_z)$ - dans la i ème époque seulement les deux degrés de liberté $\omega_{1,i}$ et $\tau_{1,i}$. Dans le cas où la configuration des points-objets observés varie selon les époques et ce cas est traité par le programme axe, des paramètres (= coordonnées de

référence) supplémentaires peuvent être nécessaires. Ceux-ci seront, dans le contexte défini par (2-5a), également introduits dans le problème en tant qu'inconnues "directement observées". Ce cas se présente généralement lorsqu'au cours des rotations axiales (chap. 1), les points de l'époque de référence $X_{j, 1}$ disparaissent peu à peu du champ visible d'observation.

2.3 Procédé itératif de compensation et détermination de valeurs approchées initiales

L'évaluation des paramètres dans le modèle axial (2-5a, c) s'effectue dans le programme AXE par la méthode des moindres carrés qui, dans le cas d'une distribution normale des observations coordonnées $X_{j, i}$, fournit les paramètres γ (2-5c) les plus précis et les moins perturbés. Les coordonnées des points-objets, qui constituent la "matière première" de notre problème sont, dans le concept de IMKA (Industrie Messsystem der Universität Karlsruhe), issus d'une compensation commune de toutes les époques se rapportant au système de référence lié aux stations du théodolite, ou, dans le cas d'un changement de station au cours des observations, lié à un système de coordonnées relatif à un ensemble de points de référence stables communs à toutes les époques. Cette compensation est préalablement réalisée à l'aide d'un programme de compensation de réseaux tridimensionnels. Les paramètres γ sont déterminés dans la méthode des moindres carrés par la condition classique $v^T C^{-1} v = \min$ [B2, B6, B7]. Dans le cadre de la métrologie industrielle (fig.1) la matrice des variances-covariances C , relative aux coordonnées observées, est pleine. Elle contient sur sa diagonale principale les sous-matrices $C_{j, i}$ des variances-covariances des coordonnées $X_{j, i}$ observées à l'époque "i". Les blocs $C_{ij, kl}$ restants expriment les corrélations existant entre les différentes époques "i" et "k" et les différents points "j" et "l" dans chaque époque. Le vecteur v des corrections sur les observations (2-5a, b) rassemble les différents sous-vecteurs des corrections des points-objets $X_{j, i}$ relatifs aux époques $i = 1, n$. Après linéarisation des relations finales (2-5a, b) au voisinage des paramètres approximatifs γ_0 , on aboutit au système d'équations d'erreurs $v = A(\gamma_0) \cdot d\gamma - (X - X(\gamma_0))$. Le vecteur $X(\gamma_0)$ représente les coordonnées-points calculées dans le modèle géométrique (2-5a, b) à partir des paramètres approchés γ_0 , relatifs à γ (2-5c). Nous ne présentons pas dans cette publication l'expression de coefficients des équations d'erreurs linéarisées des éléments de la matrice $A(\gamma_0)$, pour cela voir [B5]. Par l'application de $v^T C^{-1} v = \min$ aux équations d'erreurs et le modèle stochastique C des coordonnées-époques, on arrive au système d'équations normales $(A^T C^{-1} A) \cdot d\gamma = A^T C^{-1} (X - X(\gamma_0))$ avec un défaut $d = 2$. Les inconnues γ^i , déterminées dans la $i^{\text{ème}}$ étape d'un procédé itératif s'obtiennent en partant initialement des inconnues approchées γ_0 , et en résolvant les équations normales à l'aide du résultat $d\gamma^i$, après linéarisation et constitution de la matrice $A(\gamma_0)$ en employant γ^{i-1} . L'itération sur les paramètres s'écrit :

$$\gamma^i = \gamma^{i-1} + d\gamma^i = (\gamma_0 + \sum_1^{i-1} d\gamma^1) + d\gamma^i = \gamma_0 + \sum_1^i d\gamma^i \quad (2-6)$$

L'itération cesse à la $i = k^{\text{ème}}$ étape lorsque l'appoint $d\gamma^k$ devient inférieur à un certain seuil fixé au préalable. Comme le mouvement axial (2-5a, b) entre deux époques se décrit identiquement au mouvement spatial (2-1) quelconque d'un corps rigide possédant six degrés de liberté, et que l'axe de rotation constitue l'ensemble des points invariants par cette transformation spatiale [B5, B9], les paramètres approchés γ_0 employés initialement dans la linéarisation de la première itération de (2-6), peuvent se calculer en recherchant la droite invariante de ce mouvement étudié sous la forme d'une transformation cardanique générale. Cette opération est réalisable par exemple dans le programme AETRA [B1]. Pour la détermination des éléments de la matrice R_k et du vecteur-translation t entre deux époques, il n'est absolument pas nécessaire de connaître préalablement certaines valeurs approchées [B1]. La recherche de la droite invariante par la transformation (2-1) revient à résoudre un problème de calculs de valeurs propres [B4]. Les paramètres approchés γ_0 , s'obtiennent de la manière suivante :

▲ la direction axiale r_0 est le vecteur propre correspondant à la seule valeur propre réelle $\lambda = 1$ de la matrice R_k ,

▲ l'angle de rotation ω_0 est la partie réelle des deux valeurs propres complexes conjuguées de la matrice R_k .

$$\text{On arrive à } \cos \omega_0 = \frac{1}{2} (1 - \sum_1^k R_k(i, i)).$$

Les $R_k(i, i)$ sont les éléments de la diagonale.

▲ le point origine a_0 de l'axe se détermine à l'aide de $a_0 = (I - R_k)^+ \cdot t$.

Le signe "+" représente ici la pseudo-inverse (inverse de Moore-Penrose) d'une matrice singulière. Dans le cadre du procédé de Newton de recherche automatique des paramètres par l'itération (2-6), les angles de rotation $\omega_{1, i}$ (2-5c) joue un moindre rôle. On pourra ainsi prendre pour toutes les époques $\omega_{1, i} = 0$ en début d'itération. Il en va de même pour les paramètres de translation $\tau_{1, i}$.

2.4 Singularité du système d'équations normales et suppression du défaut de rang

Suite aux particularités décrites au chap. 2.1, intervenant sur la partie γ_1 des 6 paramètres axiaux du modèle (2-5a, b),

$$\gamma_1^T = (r_x, r_y, r_z, a_x, a_y, a_z) \quad (2-7)$$

il apparaît dans le système d'équations normales (chap. 2.3) un défaut de rang $d = 2$. La suppression de ce défaut est réalisée au sein de l'itération (2-6), d'une part par l'introduction de l'équation conditionnelle pour r linéarisée

$$r_x^2 + r_y^2 + r_z^2 = 1. \quad \text{voir (2-3b)}$$

et d'autre part par l'extension du système par la condition d'orthogonalité pour a , linéarisée à chaque étape :

$$r^T \cdot a = 0 \quad (2-8)$$

La condition (2-8) définit, à l'issue du processus itératif, un vecteur de localisation a orthogonal à l'axe $x = a + \tau v$, et désigne ainsi le point de l'axe le plus proche du point origine (0,0,0). Le nombre u des inconnues γ (2-5c) comprend un nombre u_2 inchangé de paramètres γ_2 liés aux époques $\omega_{1, i}$ et $\tau_{1, i}$ (2-5c), en outre un nombre

$u_1 = 6$ paramètres y_1 (2-7) constant décrivant l'axe et un nombre $u_3 = 3 \cdot p_1$ supplémentaire de coordonnées inconnues des points observés dans l'époque de référence. Si on note par p_i le nombre de points-objets observés dans la $i^{\text{ème}}$ époque parmi les n étudiées, la redondance (nombre d'observations excédentaires) totale r du modèle Gauss-Markov (2-5a, b) s'écrira :

$$r = 3 \cdot \sum_1^n p_i - (u_1 + u_2 + u_3) + 2 \quad (2 - 9)$$

3. Tests statistiques pour le contrôle des observations

Le calcul d'une grandeur test T_p de contrôle du $j^{\text{ème}}$ point $X_{j,i}$ (1-1) issu de la $i^{\text{ème}}$ époque permet d'apprécier la signification statistique de l'erreur tridimensionnelle modélisée, relative aux coordonnées [B3, B5, B9]. Cette grandeur est, "sous l'hypothèse nulle H_0 : "Le point P: $X_{j,i}$ considéré est compatible avec le modèle fonctionnel", soumise à une distribution centrale de Fisher, et s'écrit :

$$T_p = \frac{V_p^T \cdot (PQ_v P)_p \cdot V_p}{2 \cdot \sigma_0^2} \approx F_{2, \infty}$$

avec $v_p = (P \cdot v)_p$ (3 - 1,2)

La matrice (3 x 3) $(PQ_v P)_p$ est l'extrait de la matrice globale correspondant à la partie v_p (3-2) relative au point $X_{j,i}$ considéré. A cause de la singularité de la matrice $(PQ_v P)_p$, dont le défaut de rang est $d = 1$, l'emploi de la pseudo-inverse (+) est nécessaire dans (3-1) et le nombre de degrés de liberté de la distribution de Fisher est de deux, au lieu de trois. Ce défaut met en évidence l'impossibilité de découvrir par le test (3-1) les erreurs grossières orientées à la direction de l'axe ; ces dernières ne perturbent paradoxalement pas l'évaluation des paramètres géométriques y_1 (2-7) recherchés.

4. PRÉSENTATION DU PROGRAMME "AXE"

Le programme AXE et un module du système IMKA (Industrie-Messsystem de l'Institut de Géodésie de l'université Karlsruhe) qui se compose des trois parties suivantes :

- ▲ Saisie des observations brutes : collimation initiale du couple de théodolites, -mesure des angles horizontaux et des distances zénithales sur chaque point-objet visé et contrôle simultané de la distance zénithale mesurée.
- ▲ Exploitation des observations brutes par une compensation du réseau tridimensionnel avec le programme NETZ3D [B10].
- ▲ Modules d'analyse tridimensionnelle qui se réfèrent aux coordonnées des matrices de variances-covariances venant de NETZ3D : un module pour l'analyse des formes (en projet), le programme STARR [B9] pour l'analyse des déformations et le programme AXE [B5] traité ici.

Le programme AXE est conçu pour fonctionner sur un système-PC sous MS-DOS et travaille exclusivement à partir de trois fichiers qu'il écrit selon le mode séquentiel. Le fichier de coordonnées, pouvant être conservé

sur une disquette, contient les coordonnées tridimensionnelles x, y, z des point-objets, ainsi que leurs numéros respectifs. Le fichier des coefficients de poids des observations n'est pas demandé lorsque l'utilisateur a décidé de mener la compensation selon le modèle simplifié ou toutes les observations sont considérées comme non pondérées. Dans les autres cas, le nom du fichier doit obligatoirement figurer dans le fichier principal. Toutes les données sont lues séquentiellement et l'agencement des éléments doit correspondre parfaitement à l'ordre des points-objets utilisé dans le fichier des coordonnées (= pseudo-observations). On peut noter par ailleurs que des "tests de plausibilité" de cette matrice C sont réalisés au cours de l'enregistrement de ses éléments. La lecture et le contrôle préliminaire des données sont menés avant de débiter les calculs proprement dits. Le programme vérifie la compatibilité des différentes données directrices entre elles. Certains choix formulés par l'utilisateur ne peuvent en effet être conciliables dans le programme. On ne pourra pas par exemple choisir le modèle fonctionnel relatif à la rotation exclusive d'un objet, tout en définissant dans le fichier principal des paramètres de translation approchés. Il serait donc beaucoup trop long et peu intéressant de citer l'ensemble de ces contrôles. Un message d'erreur approprié est immédiatement affiché à l'écran, et le déroulement du programme s'interrompt. Le fichier principal enfin contient les données directrices du programme de compensation, classées en 8 blocs distincts. Parmi celles-ci, on peut citer les plus importantes :

- ▲ Nom du fichier des coordonnées et nom du fichier-sortie.
- ▲ Choix du nombre des paramètres du modèle-calcul de l'axe (modèle fonctionnel).
- ▲ Choix du modèle stochastique (venant de NETZ3D ou simplifié)
- ▲ Option concernant le "datasnooping automatique" et le choix du test statistique principal.
- ▲ Nombre maximal d'itérations et critère d'arrêt du procédé itératif.
- ▲ Mode de calcul des paramètres approchés

5. EXEMPLES D'APPLICATION

Dans ce chapitre nous présentons quelques exemples spécifiques pour démontrer les domaines d'utilisation du programme AXE.

5.1 Deux Epoque - test de congruence des réseaux points-GPS et élimination des points instables

Le programme AXE est en principe consacré à l'estimation des paramètres concernant le mouvement d'un ensemble de points le long d'un axe. Si le nombre d'époques est limité à deux, le problème se ramène à l'analyse de la congruence des réseaux tridimensionnels - par exemple deux réseaux GPS avec des coordonnées corrélées- dans le sens d'une transformation de Helmert. Le "datasnooping automatique" recherche et élimine les points instables.

5.2 Le cas spécial d'un axe rectiligne dans l'espace

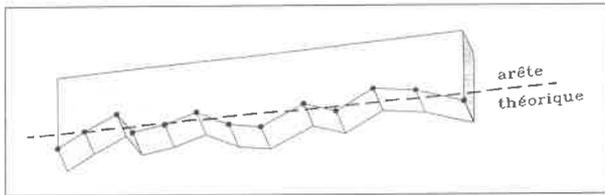


fig. 2 : Contrôle de la rectitude

Chaque $i^{\text{ème}}$ époque est constituée d'un seul point-objet $X_{i,j}$. Dans ce problème, on peut interpréter chacun des points du semis, comme étant un seul point unique mobile qui se serait déplacé dans la direction de l'axe. On n'analyse plus ainsi globalement une forme géométrique, mais un mouvement fictif d'un point dans de multiples époques. En pratique, en accordant le même numéro à tous les points observés et en plaçant chacun d'eux dans une pseudo-époque différente, on peut étudier le mouvement fictif de translation de ce point. Ainsi l'application du programme permet le contrôle de la rectitude de pièces mécaniques ou l'étude d'autres cas d'alignement tridimensionnel (fig. 2).

5.3 Exemple concret : Contrôle de la rigidité d'une finisseuse utilisé pour les revêtements routiers en béton

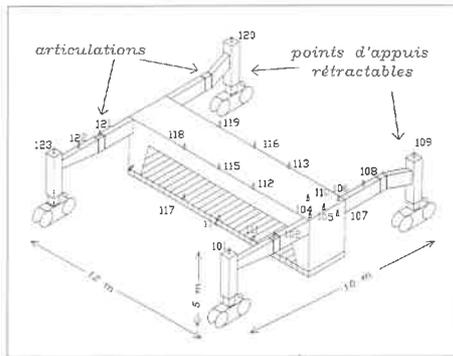


fig. 3 : Contrôle de la rigidité d'une machine

La finisseuse (fig. 3) est une machine de grande envergure utilisée dans les travaux publics pour bétonner les revêtements superficiels routiers. Elle dépose, puis étale en se déplaçant la dernière couche de béton. Afin de garantir la planéité de la surface obtenue, l'ensemble mobile doit rester parfaitement rigide au cours des travaux. L'idée centrale du projet consiste à vérifier l'hypothèse d'indéformabilité de la finisseuse en soulevant cette énorme masse par l'une de ses extrémités à l'aide d'une grue suffisamment puissante ! En observant le semis de repères dans les deux positions de la machine (au repos et en position suspendue), on peut vérifier si l'ensemble s'est déformé au cours de cette action.

5.4 Contrôle de la coplanéité de voies ferrées

Cette analyse tridimensionnelle de formes géométriques peut intervenir dans la pratique lors de levés de profils en travers de galeries souterraines. En effet, une technique couramment employée pour la vérification de tun-

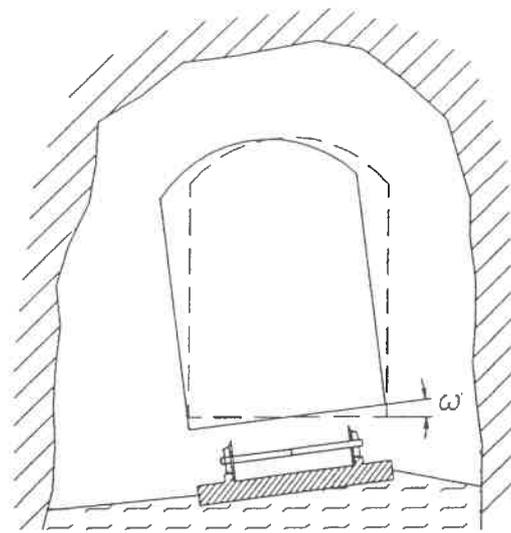


Fig. 4 : Wagon test pour la coplanéité de voies ferrées.

nels ferroviaires, s'appuie sur les mesures réalisées à l'aide d'un profilomètre, solidaire d'un wagonnet mobile spécialement aménagé (fig. 4). Si les deux rails de guidage du véhicule ne restent pas parfaitement coplanaires au cours du mouvement, l'ensemble du dispositif d'observation subit un basculement transversal d'angle variable. Ce défaut de coplanéité se répercute de manière plus conséquente encore sur la position des points levés dans le plan vertical du profil. Il est nécessaire dans ce cas d'évaluer l'angle de basculement de l'engin en tout point d'observation, afin de réajuster les données du profil erroné selon le défaut constaté. Dans cette optique, un semis de points est matérialisé sur les faces externes du wagonnet. L'observation de leurs coordonnées tridimensionnelles à partir de stations terrestres fixes, permet le cas échéant de déterminer les corrections angulaires à appliquer aux distances zénithales mesurées dans chaque profil.

5.5 Auscultation d'ouvrages d'art susceptibles de basculer

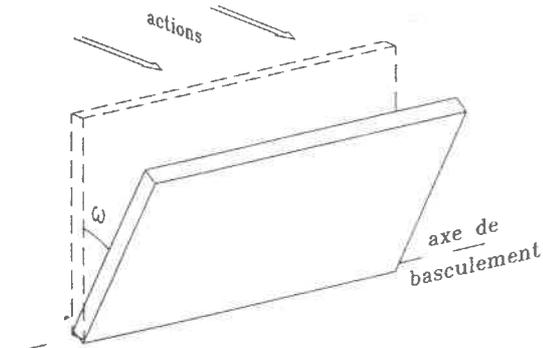


fig. 5 : Ouvrage susceptible de basculer

Les contraintes exercées sur un ouvrage d'art, sous la forme de couples de forces, peuvent, lorsque le moment fléchissant résultant devient trop important, provoquer un basculement de celui-ci autour d'un axe virtuel. Différentes campagnes de mesures permettront de déterminer les coordonnées dans un référentiel local, de repères scellés sur l'ouvrage et d'étudier leur évolution spatiale au cours du temps (fig. 5). Il est possible de vérifier si le modèle mathématique ainsi élaboré décrit avec suffisamment d'exactitude la déformation réelle de l'ouvrage, ou si au contraire certains aspects de la déformation ont été négligés dans le modèle. On pourra par exemple remettre en cause l'hypothèse d'indéformabilité du corps sur laquelle repose le modèle employé par le

programme AXE. Un rejet du modèle pourrait signifier dans ce cas que l'ouvrage, bien qu'ayant subi un type de déplacement analogue à celui prévu (rotation autour d'un axe), n'est pas resté rigide au cours de son évolution.

6. CONCLUSION

Le programme AXE fonctionne sur PC sous MS-DOS et comporte de nombreuses applications en métrologie ainsi que l'analyse de déformations dans les réseaux GPS. Les différents projets présentés tout au long de l'article en sont quelques illustrations typiques. L'exploitation de données liée à ces exemples a permis de vérifier le déroulement parfait des opérations dans le programme et l'exactitude des formulations théoriques. Le nombre, le type et la valeur des paramètres recherchés par l'utilisateur dépendent entièrement du modèle fonctionnel choisi pour le traitement des données. Ainsi un modèle géométrique décrivant au mieux la réalité physique du mouvement d'un corps dans l'espace ; devra être fixé initialement : trajectoire considérée comme étant sinusoidale, mouvement circulaire plan, etc... La principale difficulté réside bien souvent dans ce choix fondamental, notamment lorsqu'une multitude de facteurs risquent d'influencer l'évolution spatiale de l'objet. Dans ce cas, le choix des paramètres devra être judicieux, afin de concilier la volonté d'abstraction mathématique de la réalité, avec le souci majeur de simplification du problème, permettant de réduire les temps de calcul.

Inversement, par la résolution du problème selon un modèle donné, nous pouvons affirmer, sur la base de tests statistiques, si le corps en question suit effectivement une trajectoire et subit lui-même une évolution semblable à celle attendue. Si tel n'est pas le cas, le calcul pourra à nouveau être entrepris à l'aide de modèles fonctionnels plus adéquats. On entrevoit ainsi le large champ d'application offert par une telle perspective dans le domaine de l'industrie mécanique, aéronautique, navale etc... Les relations mathématiques établissant un lien entre les paramètres, sont issues dans notre cas de la géométrie élémentaire et ont servi de base à la résolution du problème global. Il convient essentiellement, de ne pas compliquer inutilement le modèle fonctionnel de base. L'adaptation du module informatique aux besoins professionnels de l'utilisateur a constitué un point central dans la conception du programme.

Remerciements :

La recherche théorique et la programmation étaient menées dans le cadre d'une collaboration entre l'Institut de Géodésie de l'université de Karlsruhe et la filière Topographie de l'Ensa Strasbourg au cours d'un projet de fin d'études en Topographie. Nous remercions Monsieur le Professeur R. Armbruster, Directeur de l'Ensa et Monsieur le Professeur H. Kunle, Recteur de l'université de Karlsruhe pour leur soutien.

BIBLIOGRAPHIE

- [B1] Bleich, P. et M. Illner (1989): Strenge Lösung der räumlichen Koordinatentransformation durch iterative Berechnung. AVN 96 (4): 133-144, Wichmann Verlag, Karlsruhe.
- [B2] Dupraz, H. (1985): Théorie des erreurs 2 - Statistique et calculs de compensation appliqués à la géodésie et à la mensuration. Cours à l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, octobre 1985, réimpression 1989, Lausanne.
- [B3] DVW-Landesverein Baden-Württemberg (Hrsg.) (1986): Sonderheft "Beurteilung geodätischer Netze". DVW-Mitteilungen (33), Stuttgart, 1986.
- [B4] Jeger, M. und B. Eckman (1967): Einführung in die vektorielle Geometrie und lineare Algebra für Ingenieure und Naturwissenschaftler. Birkhäuser Verlag, Basel und Stuttgart.
- [B5] Klumb F. (1990): Evaluation des paramètres liés aux mouvements spatiaux d'un corps rigide le long d'un axe : étude théorique et implémentation software sur système compatible PC. Projet de fin d'études en Topographie. Ecole Nationale Supérieure des Arts et Industries de Strasbourg. Inédit.
- [B6] Koch, K.R. (1980): Parameterschätzung und Hypothesentests in linearen Modellen. Dümmler Verlag, Bonn.
- [B7] Mikhail, E.M. (1983): Observations and Least Squares. Dun-Donnelly Publisher, New-York.
- [B8] Bronstein und Semendjajew (1956): Taschenbuch der Mathematik. Harri Deutsch, Frankfurt/Main.
- [B9] Ziegler, C. (1990): Theoretische Herleitungen und softwaremässige Realisierung mit Simulationsstudien und Realdatenauswertungen zum Konzept einer auf Epochen-Ausgleichungen basierenden 3-D Deformationsanalyse. Diplomarbeit am Geodätischen Institut der Universität Karlsruhe. Inédit
- [B10] Bleich, P. (1985): Programmerstellung und Untersuchungen zur Modellbildung, Genauigkeit und Zuverlässigkeit im geometrischen 3-D-Modell. Diplomarbeit am Geodätischen Institut der Universität Karlsruhe. Inédit.

Der Artikel befasst sich mit der Parameterschätzung zur Bewegung eines starren Objekts um eine räumliche Achse. Als Beobachtungen fungieren die dreidimensionalen Objektpunktkoordinaten verschiedener Bewegungszustände. Im theoretischen Abschnitt werden die Überführung der zunächst in aufeinanderfolgenden Epochen verketteten Gauss-Helmert-Modelle in ein einheitliches Gauss-Markov-Modell, der iterative Ausgleichungsprozess der Berechnung der Achsbewegungsparameter sowie die vorausgehende Beschaffung genäherter Startparameter mittels Eigenwertproblem zur Fixgeraden der kardanischen Drehung behandelt. Danach werden das zum Gauss-Markov-Modell der Achsbewegung entwickelte Programmpaket AXE, welches kein univariates Epochendesign verlangt, dessen Schnittstelle zur einem Netzausgleichungsprogramm und die in AXE realisierte Beobachtungskontrolle im Modus des Iterativen Datasnooping präsentiert. Unter den Anwendungsbeispielen werden die Sonderfälle der ausgleichenden räumlichen Geraden und die Kongruenzprüfung unter automatischer Elimination deformierter Punkte für die Analyse von GPS- oder Deformationsnetzen in zwei Epochen behandelt.

ADRESSES DES AUTEURS

Prof. Ing. Pierre Grussenmeyer - Dipl.-Ing. Francis Klumb - Ecole Nationale Supérieure des Arts et Industries de Strasbourg (E.N.S.A.I.S.).

24 Boulevard de la Victoire - F-67084 Strasbourg Cedex -

Dr.-Ing. Reiner Jäger - Geodätisches Institut - Universität Karlsruhe - Englerstrasse 7, D-7500 Karlsruhe

Cet article a été publié en octobre 1991 dans la revue suisse "Mensuration", Photogrammétrie, Génie rural.

LA GÉODÉSIE AU SERVICE DE L'EXPLOITATION DES AÉRODROMES

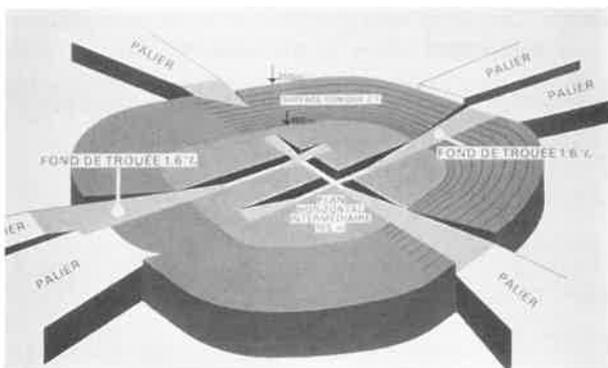
par Pierre Bijou

Ingénieur diplômé de l'Ecole Supérieure des Géomètres et Topographes - Ingénieur Européen FEANI (EUR - ING)

Les revues techniques s'intéressent à l'aviation civile le plus souvent sous l'angle le plus plaisant pour le grand public : les performances des aéronefs et la commercialisation des voyages, réalisée déjà depuis 1925 aux Etats Unis en ligne régulière ouverte au public. La technique nécessaire au bon fonctionnement des aéro-dromes, notamment la topographie, est complètement oubliée.

La notion d'infrastructure aéronautique

Parmi les grandes infrastructures de transports, les aéro-dromes occupent une place importante. L'emprise au sol du domaine aéronautique est relativement faible par rapport aux autres infrastructures, mais les nécessités techniques de l'approche des piste imposent l'application de servitudes "non altius tollendi" de dégagement qui s'étendent largement au-delà de ses limites.



"Servitudes non altius tollendi aux abords des aéro-dromes - représentation sommaire des surfaces de dégagement - photothèque du STBA

Les aéro-dromes sont des terrains ou des plans d'eau aménagés pour l'atterrissage, le décollage et les manœuvres des aéronefs, y compris les installations annexes. Les aménagements varient en fonction de la nature et de l'importance du trafic, de la technicité des aéronefs, des particularités d'exploitation et de la régularité de desserte.

Au sein du Ministère des Transports, la Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC) aura adopté pour la France, une classification originale, se distinguant de celle qui est recommandée par l'Organisation Internationale de l'Aviation Civile (OACI), organisme spécialisé de l'ONU. Alors que l'OACI considère comme seul critère, la longueur de base principale, la DGAC a retenu une classification fonctionnelle appuyée sur les caractéristiques des activités aériennes auxquelles sont destinés les aéro-dromes. Ils sont répertoriés pour chacun d'entre eux selon : la nature du trafic assuré, la longueur d'étape au départ et la nécessité éventuelle d'assurer le trafic en toute circonstance. Les étapes sont

longues quand elles dépassent 3 000 km (long courrier), moyennes entre 1 000 km et 3 000 km (moyen courrier), et courtes en dessous de 1 000 km (court courrier). L'Instruction Technique sur les Aéro-dromes Civils (Ministère des Transports), répertorie les plates-formes en 5 catégories :

- A = long courrier assuré en toute circonstance,
- B = moyenne distance assuré en toute circonstance avec certains services à grande distance, mais aucune étape longue au départ,
- C = courte distance avec services à moyenne et longue distance, grand tourisme, vols à la demande ou "charters", travail aérien, aviation générale et de voyage,
- D = certains services à courte distance, avec formation, sport et tourisme, aviation générale élémentaire,
- E = aéro-dromes à caractéristiques spéciales (ACS) destinés aux giravions, aéronefs à décollage vertical ou oblique (altiports, hélistations et héliports).

Les ACS sont adaptés à une technique spéciale de l'avion et aux particularités d'exploitation. L'ITAC subdivise les catégories C, D, E du code de l'Aviation Civile en classes déterminées en fonction des caractéristiques et de l'importance du trafic.

Globalement, les longueurs de piste des plates-formes aéronautiques varient de 1 à 4 km. Les aéro-dromes ouverts à la circulation aérienne publique (CAP), permettent à tous les aéronefs présentant les caractéristiques appropriées d'en faire usage. Le classement en catégories ne s'applique qu'aux plates-formes ouvertes à la CAP, sauf celles à usage restreint des administrations telles que militaires. Les hydrobases sont répertoriées en 3 catégories A, B, C. L'ouverture d'un aéro-drome n'est pas soumise à DUP, mais sa création doit être autorisée. Le réseau des infrastructures aéronautiques de France, est inscrit dans les documents de planification : schéma directeur de l'équipement aéronautique (national), et plan aéronautique des régions pour les aéro-dromes structurants. Les avant-projets de plans de masse (APPM) et les plans de composition générale (PCG), après approbation, sont pris en compte dans les SDAU et les POS.

Alors que l'Administration prévoyait, en 1947, une extension très importante du réseau aéronautique avec 620 plates-formes en Métropole, il n'en existe que 555 qui ont été régulièrement autorisées, Outre-Mer compris. Les ACS "sauvages" sont utilisés principalement par les hélicoptères. Les installations majeures ont été équipées pour l'atterrissage aux instruments. Mais, aucun aéro-drome de catégorie D ne bénéficie de ce type d'ins-

tallation, bien que l'équipement radiotechnique des petits avions privés se perfectionne. Néanmoins, leur exploitation est améliorée par le recours à des aides radioélectriques d'approche : radiophare omnidirectionnel (VOR) et Distance Measuring Equipment (DME).

Besoins en information topographique

La nature des besoins en produits topographiques est intimement liée au mode d'exploitation des plates-formes aéronautiques. L'analyse des phases de cette utilisation : atterrissage, approche et protection réglementaire des abords, permet d'appréhender avec netteté l'objet de la demande et d'adapter l'offre en produits topographiques.

Les pistes répondent à des besoins opérationnels pour l'atterrissage et le décollage des avions les plus lourds et pour les avions légers. Elles facilitent la circulation aérienne et le contrôle des mouvements au sol. Un trafic d'aéroclub ou occasionnel ne nécessite qu'une bande engazonnée, alors que le transport de voyageurs et de marchandises exige des pistes en matériau dur, tel que le béton de ciment ou le béton bitumineux. Elle seront apparues à partir de la décennie ayant précédé le deuxième conflit mondial.

Les voies non revêtues des aérodromes de catégorie D ne peuvent pas supporter des appareils, avions et planeurs, dont la masse dépasserait 5,7 t. Des pentes maximales de 3% sont encore acceptables pour les bandes engazonnées correspondantes.



Nivellement de la piste de l'aérodrome de Lyon-Satolas - travail exécuté sous trafic par la cellule topographique - photothèque du STBA

L'exploitation des pistes revêtues pour un trafic dense, et notamment commercial, est plus contraignante. La conception technique de la piste d'aérodrome ne diffère guère de celle d'une voie routière. Néanmoins, elle demande une adaptation aux caractéristiques du trafic aérien. Les avions sont lourds, leur masse pouvant atteindre jusqu'à 300 t, et leur vitesse d'évolution nettement plus élevée que celle d'un trafic routier (280 km/h). La pression des pneumatiques d'atterrisseurs est de 14 à 15 kg/cm² au lieu de 1,5 à 2 pour un véhicule routier, et la charge par roue peut monter à 45 t alors qu'elle est limitée à 13 t/essieu sur la route. Chaque Etat doit annoncer la résistance des pistes des aérodromes internationaux. La qualité de la chaussée aéronautique (portance, intégrité de surface, uni du profil en long et glissement), influe directement sur la sécurité, car contrairement à la route, aucune limitation d'utilisation n'est tolérable. La fatigue des structures de l'avion, n'est pas une

crainte réaliste car déjà prise en compte lors de sa conception. Par contre, les défauts de piste peuvent gêner l'écoulement des eaux et produire l'hydroplanage, rendre le contrôle délicat de l'appareil en créant des résonances aux atterrisseurs : pompage, tangage ainsi que résonance longitudinale et réduire l'efficacité du freinage. La surcharge dynamique, en outre, accélère la détérioration des chaussées. Les nids de poule et décalages des plaques de béton sont techniquement intolérables.

Les pentes maximales admissibles sont plus contraignantes que pour une route : 1 à 1,5% transversale, 1,25% longitudinale, premier et dernier quart : 0,8%. Des pentes maximales, longitudinales et transversales, de 2% sont acceptables pour les aérodromes de catégorie C et D. Les pentes minimales acceptables pour les autres installations varient de 1,5 à 1,75% (A, B) à 2% (D et E) en longitudinal et 2,5% (A, B et C) à 3% (D et E), en transversal. Les défauts à détecter dans l'uni d'une piste correspondent à des fréquences nuisibles de 0,5 à 15Hz. Les petites longueurs d'ondes de 8 à 20 m gênent le pilote et celles de 20 à 100 m, les atterrisseurs. Lors de travaux de réfection ou de renforcement de piste, le coût du remblai impose une bonne connaissance du terrain de base : fond de forme de chaussée et abords non revêtus, bande aménagée et bande dégagée. La piste pourra être étudiée par nivellement des points caractéristiques du profil de celle-ci, le maillage appliqué aux pistes revêtues étant particulièrement dense. Les voies de circulation et aires de stationnement demandent moins de points de contrôle.



Atterrissage aux instruments - survol de localiseur 'élément de l'ILS' - aérodrome de Roissy-Charles de Gaulle - photothèque du STBA

Sur les infrastructures les plus importantes, l'approche finale des avions est guidée par un système d'instruments d'aide à l'atterrissage. Des indicateurs visuels de pente d'approche sont installés pour donner au pilote l'information visuelle sur le positionnement vertical de son appareil. Ce seront des : visual approach slope indicator system (VASIS), AVASIS, et précision approche path indicator (PAPI), plus précis que les précédents et devant les remplacer. Les précisions d'exécution de calage varient de 10' à 30'. Des systèmes d'aide à l'atterrissage sont utilisés pour les aérodromes les plus fréquentés. Ils permettent d'atterrir par tout temps et augmentent sécurité et régularité du trafic. Le plus courant, l'instrumental landing system (ILS), comprend plusieurs éléments radioélectriques répartis sur une ligne pouvant atteindre 5 à 10 km : le radioalignement de piste RAP ou LLZ en anglo-américain, le radioalignement

en descente (RAD ou GP en abréviation anglo-américaine), et radioborne (OM, out marker anglo-américain, balise externe), middle marker ou balise moyenne (MM), et le DME. En 1995, les ILS devront être remplacés par les *microwave landing system* (MLS). L'approche guidée par instrument, dite de précision, dont le niveau de performance est donné par un chiffre allant de I à III, requiert que la pente de la piste ne dépasse pas 0,6% sur les premiers 900 mètres par exemple pour la catégorie dite III A.

Le Service Technique de la Navigation Aérienne (STNA), soucieux d'augmenter le niveau de performance des installations des aérodromes commerciaux, demande la localisation altimétrique et planimétrique des éléments du dispositif ILS : le RAD (LLZ ou localiseur), le radioalignement en descente (GP), et la balise moyenne (MM), la balise externe (OM), ainsi que les seuils et points caractéristiques de la piste.

La sécurité aérienne suppose l'élimination des prééminences, points hauts qui pourraient constituer des obstacles à l'atterrissage dans deux zones :

- la surface libre d'obstacle (obstacle free zone ou OFZ), où 45 m de dégagement sont réalisés de chaque côté du bord de piste,

- la surface d'évaluation d'obstacles (OAS), où le risque de collision serait supérieur à 10^{-7} .

A cet usage, un lever numérique, qui permet l'exploitation des coordonnées des points hauts en ordinateur à travers un programme modélisant les risques de collision, le CRM en initiales anglosaxonnes, est réalisé. Les sommets et bases des points hauts seront données par rapport à un repère orthonormé dont l'origine est située au seuil d'atterrissage en mauvaise visibilité (seuil AMV). La cote de ce seuil est le zéro, les ordonnées sont dirigées vers l'extérieur de la piste.



Pose d'un repère d'axe de piste sur l'aérodrome de LOUDUN - photographie de Pierre Bijou

Lors de l'établissement du plan des servitudes aéronautiques de dégagement, le code de l'aviation civile exige que le dossier mis à l'enquête préalable à l'approbation comprenne une liste de repères NGF et de points TGF proches et nécessaires à la compréhension de ce document administratif. La pose de deux bornes d'axe de piste complémentaires connues en planimétrie (dans le système de LAMBERT pour les aérodromes qui sont situés en France métropolitaine) ainsi qu'en altimétrie, est demandée. Elles sont positionnées de préférence par rapport aux extrémités de la piste principale ou de

celles qui sont accessibles aux avions, en cas de pluralité d'orientations. Le calage des périmètres d'appui des servitudes de dégagement, la détermination des points hauts par rapports aux abords de plate-forme, l'établissement de leviers complémentaires et la vérification du respect des altitudes maximales autorisées, sont réalisés à partir de ces repères.

Précisions requises et établissement de repères complémentaires

La précision de rendu des produits topographiques résulte des exigences formulées par les techniciens qui exploitent ces données. Elle est déterminée par l'analyse préalable des besoins en renseignements découlant de l'utilisation qui en est faite.

L'approche et l'atterrissage sont analysés sous deux aspects : le calage des aides à la navigation et la sécurité aérienne en approche de précision, situation la plus contraignante. Dans ce but, le Service technique de la navigation Aérienne (STNA) veut connaître pour les plates-formes où cette procédure est appliquée, la position des éléments de l'ILS :

- en planimétrie = ordonnées au mètre exact (± 5 cm) et abscisses au décimètre exact (± 5 cm),

- en altimétrie = altitude au décimètre exact (± 5 cm).

La sécurité aérienne en approche de précision est appréciée par l'exploitation des leviers topographiques réalisés par programme informatique spécialisé mis au point pour la France, par l'Ecole Nationale de l'Aviation Civile (ENAC) de Toulouse. Les altitudes y sont introduites en pieds (ft en abrégé), cette mesure anglosaxonne valant environ 0,30 m. La planimétrie doit être connue au mètre près (± 50 cm), tout en tenant compte des pentes des surfaces OFZ et OAS, être cohérente avec la précision altimétrique en pieds (± 15 cm).

Les précisions requises dans l'exploitation de la piste d'envol varient selon qu'il s'agit d'une bande engazonnée ou d'une piste en dur. Les nécessités du reprofilage de piste ou de réfection, requièrent la connaissance de la topographie avec une précision de l'ordre de celle du lever tachéométrique. Elle est justifiée, si l'on tient compte que l'on est en présence de terrains d'assise de bonne qualité choisis pour établir les pistes pouvant résister à des charges au roulage.

Les précisions retenues, lors de la construction de chaussée, pour le nivellement par rapport au projet, varient de ± 2 cm pour le fond de forme de chaussée et abords non revêtus, ± 3 cm pour les autres parties de la bande aménagées, et ± 5 cm pour la bande dégagée. Les écarts tolérés pour une chaussée neuve seraient, selon l'OACI de 3 mm / 3 m et 2,5 à 3 cm / 45 m, et pour la France (Cf ITAC) : 3 mm / 3 m et 10 mm / 10 à 15 m au maximum. La nécessité de garantir l'évacuation des eaux impose l'appréciation de dénivelées de 3 mm qui pourraient être mises en évidence par la règle à rasoir. L'étude de l'uni de la piste est réalisée couramment depuis 1975 avec l'analyseur de profil en long (APL 72) issu de la technique routière. La mesure est réalisée par bandes de 200 m avec calage par nivellement à chaque extrémité. Le lever topographique n'a pas été souvent utilisé jusqu'ici, car considéré par les ingénieurs de

l'Équipement comme lourd à mettre en œuvre : 5 points par profil tous les 5 à 10 m sur des piste pouvant atteindre une longueur de 4 km. A l'heure actuelle, il devrait en être autrement avec l'utilisation d'un niveau électronique à grand rendement, tel que le niveau NA 2000 de la société WILD, qui facilite la mesure et permet le traitement informatique du nivellement.

La protection des abords de l'aérodrome passe par la réalisation de leviers complémentaires et le respect d'obligations réglementaires. La méthode tachéométrique suffit amplement pour établir un lever complémentaire dont l'exploitation reste interne au Service Technique des Bases Aériennes (STBA). Le semis numérique n'est pas utilisé et les reports sont exécutés à une échelle maximale du 1/2000, mais plus couramment par complétage graticulé de plans au 1/10 000 ou 1 / 20 000 nécessaires à la confection de dossiers administratifs d'établissement de servitudes de dégagement. Aucune cote de niveau n'est reportée au-delà du dm (± 10 cm).

Le code de l'aviation civile, ne différencie pas les repères (NGF et TGF) existants, des repères complémentaires, dénommés dans les services de la DGAC improprement bornes d'axe de piste, nécessaires à la mise en œuvre des servitudes aéronautiques de dégagement. Ils sont considérés comme découlant de la réglementation existante : lois de 1892 et 1943 et arrêtés de 1948 et 1980, le premier n'étant pas applicable aux aérodromes d'Outre-Mer pour ce qui se rapporte à l'obligation d'utiliser la projection de LAMBERT. Les précisions dans l'établissement de ces repères complémentaires doivent permettre leur exploitation par tout géomètre-expert au même titre que les agents de l'IGN, lors d'une expertise relative à l'application des servitudes à un terrain riverain d'un aérodrome demandée par son propriétaire.

Les besoins en précision sont dictés par les nécessités du respect de la réglementation existante, des relevés de déformation des pistes en dur, et du calage des aides la navigation aérienne.



Rattachement par relèvement à la triangulation générale de la France d'un repère d'axe de piste - aérodrome de Saverne - Steinbourg - travail exécuté par la cellule topographique - photographie de Pierre Bijou

Le rattachement planimétrique, essentiellement réalisé par relèvement des bornes-repères, à la triangulation générale de la France, sur références de 4^{ème} et 5^{ème} ordres en visées courtes, inférieures à 2,5 km, qui est suffisant, correspond à la précision du canevas ordinaire.

Il conviendrait néanmoins d'éviter les écarts dépassant la tolérance du canevas de précision.

Le rattachement altimétrique au nivellement général de la France, étant donné l'hétérogénéité des repères utilisables, est de la précision du canevas ordinaire. Ce qualificatif réglementaire ne doit pas tromper, car les précisions exigées ne correspondent absolument pas à celles qui peuvent être obtenues avec un niveau de chantier.

Les bornes sont posées dans le domaine aéronautique, suffisamment éloignées des seuils de piste pour ne pas être affectées par les travaux, notamment d'extension. Constituées par des blocs de béton coulé sur place, elles sont profondément ancrées pour résister à la pression de bandages pneumatiques de véhicules et être constamment hors gel. Une fondation de 90 cm est, par exemple, nécessaire en Lorraine. La face carrée de 45 cm de côté apparaît en saillie de 10 cm à la surface du sol avec un repère central et une plaque d'identification, tous deux en acier inoxydable.

REFERENCES

I- Bibliographie

- L'uni des pistes - Revue générale des routes et aérodromes - n° 597 - Mai 1983 - par G. GOVINDASSAMY, A. VIANO, et P.J. ELOI.
- L'uni des pistes - juillet 1986 - STBA - MELTEM/DGAC/SBA.
- Besoins en repères complémentaires dans l'exploitation des plates-formes aéronautiques - Revue GEOTOP n° 110 (ESGT) - Septembre 1988 - Pages 7 à 9.
- Aspects de la commande de produits topographiques par l'Administration - Revue GEOTOP (ESGT) - n° 113 - Janvier 1989 - pages 25 à 31.
- Contraintes urbanistiques aux abords des aérodromes - Revue XYZ - n° 45 - Octobre 1990 - Pages 37 à 48.

II Textes officiels :

- Convention relative à l'aviation civile internationale signée à Chicago le 07 décembre 1944, ratifiée le 13 novembre 1946 et publiée par décret n° 69 - 1158 du 18 décembre 1969.
- Code de l'aviation civile et notamment ses articles D 242 - 1 et D 242 - 3.
- Acte dit loi n° 374 du 06 juillet 1943 validé et complété par la loi n° 57 - 391 du 28 mars 1957 relatif à l'exécution des travaux géodésiques et cadastraux et à la conservation des signaux, bornes et repères.
- Arrêté interministériel du 20 mai 1948 relatif aux travaux topographiques et topométriques entrepris par les services publics, collectivités publiques, établissements publics, ou entreprises concédés avec la participation financière de l'Etat, des Départements ou des Communes, couvrant au moins 1 000 ha et ayant pour but l'établissement de plans au 1/10 000 ou à échelle plus petite (J.O. du 02 juin 1948).

- Arrêté interministériel du 21 janvier 1980, fixant les tolérances applicables aux levés entrepris par les services publics (Cf - fascicule n° 80 - 12 bis du B.O. - MECV).

- Décret n° 85 - 404 du 03 avril 1985 - approbation du fascicule n° 50 - cahier des clauses techniques générales - plans à grande échelle - (Cf - fascicule spécial n° 85 - 29 bis).

- Arrêté du 22 décembre 1986 et Instruction NR 20210 du 26 février 1987 (Équipement - DGAC - SIA) relative aux conditions d'homologation et d'utilisation d'un aérodrome pour exécution de procédures d'approche de précision.

- Circulaire d'application (de l'arrêté du 20 mai 1948) n° 4 300 IGN / C du 15 décembre 1948.

- Instruction spéciale fixant les conditions d'exécution des travaux de triangulation, de polygonation et de nivellement relevant du contrôle de l'IGN - IGN / 1949 - Service de la géodésie - Ministère des Travaux Publics, des Transports et du Tourisme.

- Circulaire n° 1830 DBA du 24 mars 1967 relative aux servitudes aéronautiques de dégagement et aux bornes de repérage (Ministère de l'Équipement - DBA).

- Instruction du 28 janvier 1980 relative aux tolérances applicables aux levés entrepris par les services publics (Cf - fascicule n° 80 - 12 bis du B.O. - MECV).

- Instruction technique sur les aérodromes civils (Ministère des Transports - DGAC - SBA) :

- fascicule n° 1 = Généralités - Mai 1983, SL, 74 pages,

- fascicule n° 2 = Aires de manœuvre, pistes, bandes et voies de circulation - juin 1983, SL, 80 pages,

- fascicule n° 3 = Aires de manœuvre, aides à l'atterrissage, et équipements météorologiques - juillet 1983, SL, 112 pages,

- fascicule n° 4 = Aires de manœuvre, constructions - octobre 1983, SL, 130 pages,

- fascicule n° 7 = Installations de la navigation aérienne et météo - 1985, SL, 70 pages

- fascicule n° 9 = Dégagements - avril 1986, SL, 118 pages.

- Circulaire n° 84 - 50 (MELTEM) - Direction des Routes - du 23 juillet 1984 - contrôle de l'uni - et guide technique du SETRA.

- Documents techniques relatifs à la Convention relative à l'aviation civile internationale (OACI),

- Normes et pratiques recommandées internationales - Annexe n° 14 (Aérodromes),

- Manuel de conception des aérodromes - 1ère partie - Pistes.

VUES AERIENNES METRIQUES

Toutes échelles - Toutes émulsions : pour toutes applications

— Vues aériennes panoramiques —

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

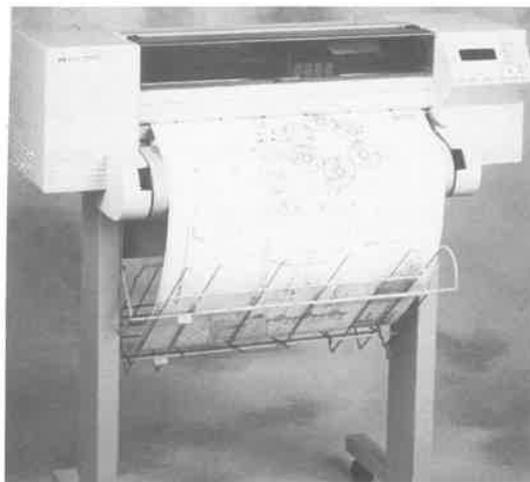


AU SERVICE DES AMENAGEURS

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

Téléphone : 42.60.05.45 - Télécopie : 42.24.26.04

Traceur HP DesignJet 650C, un traceur couleur qui bat tous les records



Une solution de tracé **GEOMETRE** incluant :

- Un traceur jet d'encre couleur, feuille à feuille et à rouleau A0
Mémoire étendue à 12 Mo, câbles inclus
Un tracé A0 en 13 mn maximum
Garanti 3 ans sur site, par **HEWLETT PACKARD**
- Un logiciel **PC DISPLAY PRO**
Utilitaire de visualisation des fichiers DXF et HPGL
Sortie sur traceur sans licence AUTOCAD
Conversion de formats

Le traceur HP DesignJet 650C génère des tracés dans des couleurs éclatantes à la vitesse d'un traceur monochrome ultra-rapide. Il est silencieux, fiable et performant.



HEWLETT
PACKARD

Distributeur Agréé
Micro-Informatique

Offre d' introduction, limitée dans le temps: La solution complète pour 89500 F HT
Chèque de réservation de 15000 F à la commande, solde à la livraison. Disponible sur stock.
Possibilité de financement. Documentation sur demande

R.D.C. SYSTEMES

5, avenue des Peupliers, 35510 CESSON-SEVIGNE

TEL. : 99.83.49.49
FAX : 99.83.42.70

COLLINET, L'Efficacité d'un Partenaire de Qualité



⇒ L'Expérience Collinet :

- 20 ans au service des géomètres et des topographes

⇒ L'Offre Collinet :

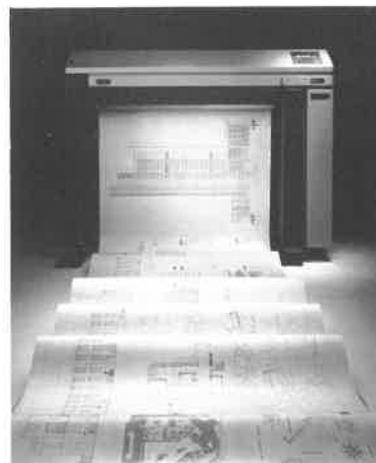
- Vente de solutions complètes incluant les périphériques Océ Graphics
- Location courte, moyenne et longue durée
- Reprise de matériels

⇒ Le Choix Collinet :

- Des partenaires de qualité dont Océ Graphics, Leica, JS Info...

⇒ Les "Plus" Collinet :

La Passion du Service, La Motivation d'une Equipe, L'Expérience de votre Métier



Série G9800 d'Océ Graphics
des tracés jusqu'à 15 m de long

N'hésitez pas à nous contacter, nous serons toujours à votre écoute :

Société **COLLINET** - 224 avenue du St-Laurent - Parc Atlantis - 44811 St Herblain Cedex - Tél. : 40.92.04.51 - Télécopie : 40.92.05.38

Société **COLLINET** - 150 rue Mayor de Montricher - ZI - 13854 Aix-en-Provence - Tél. : 42.24.32.75 - Télécopie : 42.24.32.61

Avec le "Global Positioning System" on entre dans le XXI^e siècle

Un point précis sur le G.P.S.

Bruno WAITZMANN

Directeur Général d'Equipements Services Techniques

Introduction

Le système G.P.S. est maintenant quasi-opérationnel. On connaît précisément ses performances et les moyens pour y parvenir. Les traitements des données GPS et surtout les applicatifs connaîtront de grandes évolutions dans les mois et les années à venir. L'outil GPS est si diversifié qu'il permet aux utilisateurs de choisir en fonction de leurs besoins et de leur budget. De plus en plus de géomètres, par exemple, pensent aujourd'hui à l'investissement G.P.S. pour un gain de temps et une qualité optimisée de leur travail. Cet article a pour but essentiel de démystifier ce système en apportant au lecteur des ordres de grandeur de précision obtenus ainsi qu'une description des principales méthodologies nécessaires à l'utilisation du G.P.S.

Le système G.P.S. (Global Positioning System)

Description

Ce système a pour but :

- de fournir position, vitesse et temps de façon précise.
- d'avoir une couverture mondiale 24 h /24 h.
- de fonctionner sous toutes conditions climatiques.
- d'être passif et donc d'avoir un nombre illimité d'utilisateurs.

24 satellites (altitude \approx 20 000 Km) permettant d'avoir en permanence 6 à 10 satellites en vue de n'importe quel point du globe, émettent en permanence deux signaux : les fréquences L1 (\approx 1,5 GHz) et L2 (\approx 1,2 GHz). Ces deux fréquences sont modulées par le code C/A pour la fréquence L1 et par le code P pour les fréquences L1 et L2. Ces modulations

véhiculent les messages des satellites. Deux cryptages peuvent éventuellement intervenir pour dégrader le système : La S/A (Select Availability) et l'A/S (Anti Spoofing). La S/A est une erreur d'horloge sur les satellites. L'Anti-Spoofing est une modulation additionnelle du code P qui devient alors le mystérieux code Y. Le code C/A donne accès au service SPS (Standard Positioning Service). Le code P donne accès au PPS (Precise Positioning Service) :

- Le SPS non dégradé (S/A off) vous offre en instantané avec un seul récepteur (mode naturel) une précision de 20 à 40 m (dépendant essentiellement du type de récepteur utilisé). En présence de la S/A cette précision passe à environ 100 m en horizontal 2D et environ 150 m en vertical.

- Le PPS non dégradé (S/A off et A/S off) vous donne en mode naturel une précision de 16 m en 3D. Cette précision peut être dégradée par le segment de contrôle (Centre de contrôle des satellites GPS de l' US DoD) jusque dans les mêmes proportions que le SPS (100 m en 2D).

Cependant cette dégradation nécessite la mise en activation de la S/A et de l'A/S. En fait pour voir l'A/S activée en permanence il faudrait une crise mondiale grave, nécessitant une sélection des utilisateurs du PPS.

Des dégradations supplémentaires sont improbables.

Les récepteurs GPS

Deux grands types de récepteurs sont aujourd'hui disponibles sur le marché :

- *Les récepteurs mono-fréquence* : Ils décodent C/A sur L1 pour la plupart, et pour certains P sur L1

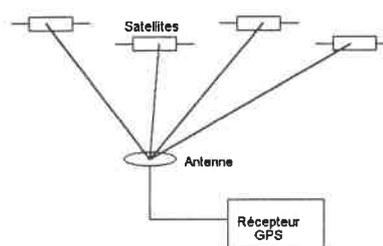
- *Les récepteurs bi-fréquence* : Ils décodent à la fois C/A sur L1 et P sur L1 et L2.

Le transit par la ionosphère génère une des erreurs majeures liée à l'acquisition GPS. En effet, dans ce milieu, les temps de trajet des signaux dépendent de leur fréquence. Cette caractéristique permet donc au récepteur bi-fréquence de mesurer précisément la ionosphère par une mesure de Δt entre L1 et L2, alors que le récepteur mono-fréquence se contentera de modèles mathématiques.

D'un point de vue électronique deux catégories de récepteurs sont en présence :

- *Les récepteurs multiplexés* : Le même canal poursuit successivement les satellites en vue. Cette technologie est vieillissante et dégrade sensiblement les performances du système.

- *Les récepteurs à canaux parallèles* : Plusieurs canaux (6 à 10) indépendants (1 satellite/canal) traitent simultanément les satellites en vue. Cette technologie permet une bien meilleure qualité d'acquisition (meilleur ratio signal à bruit). En d'autres termes le même satellite sur deux canaux différents donne simultanément sur chacun des deux canaux le même résultat. Les récepteurs GPS mesurent les distances (pseudo-distances) par une mesure des temps de trajet et les phases des signaux GPS. La position du point, résultant de la connaissance de la position des satellites en vue (message GPS), est alors calculée par une sorte de "triangulation".



Les erreurs GPS

- *Les erreurs troposphériques* : les modèles mathématiques utilisés donnent une bonne approximation de cette erreur. L'utilisateur pourra s'affranchir du modèle par la mesure physique des paramètres de troposphère : température, pression, humidité.

- *Les erreurs ionosphériques* : les effets ionosphériques sont dus aux molécules de gaz ionisées dans la ionosphère. Ils engendrent une perturbation importante sur la propagation des signaux.

- *Les multi-trajets et phénomènes de masquage* : l'environnement du récepteur est également important dans la mesure du GPS. La réflexion d'ondes sur un obstacle provoque un allongement non négligeable des temps de trajet (immeubles, pont, montagnes, etc).

- *Les erreurs d'horloge des satellites* : elles correspondent en grande partie à la SA.

- *Les erreurs d'horloge des récepteurs* : elles dépendent de la qualité des horloges des récepteurs utilisés.

- *Notion de GDOP* : elle correspond à la configuration géométrique des satellites en vue, les uns par rapport aux autres. On conçoit très bien que des satellites très rapprochés donneront une position nettement moins exacte qu'une répartition homogène des satellites. Le GDOP est un nombre naturel. On vérifie qu'un bon GDOP doit être inférieur à 3.

Comment utiliser le GPS?

Les deux modes d'utilisation sont :

- Le mode naturel :

Ce mode ne nécessite l'utilisation que d'un seul récepteur. Compte tenu des spécifications du système, ce mode est sensiblement dépendant des dégradations possibles. Cependant l'utilisateur dont les applications ne nécessitent pas des précisions meilleures que 100 m en instantané pourra utiliser ce mode sans aucune restriction. De plus il bénéficiera de périodes avec peu de dégradations pendant lesquelles sa précision sera bien meilleure (20 à 40 m) : l'exemple

type est la navigation de plaisance ou aérienne. Si par ailleurs, il n'a pas de contrainte cinématique et qu'il peut laisser son récepteur stationner en un point, la plupart des récepteurs lui donneront une solution de navigation moyennée sur le temps d'intégration. Par un traitement approprié et avec un récepteur bi-fréquence, il pourra obtenir des précisions de l'ordre du centimètre sur une acquisition d'au moins 48 heures. Ceci nécessite de se procurer les enregistrements de stations de référence implantées à travers le monde et d'effectuer un post-traitement différentiel.

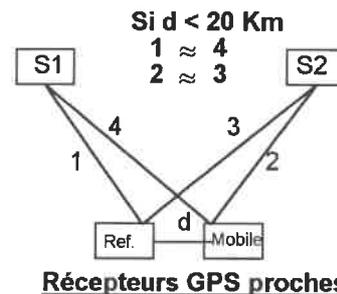
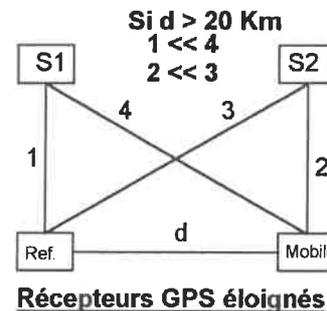
- Le mode différentiel :

Cette solution va permettre à l'utilisateur d'obtenir des performances exceptionnelles en fonction des récepteurs utilisés. Ce concept est basé sur l'utilisation de deux récepteurs : l'un en station de référence, l'autre en mobile. Chaque récepteur enregistre, en même temps, les mêmes satellites.

- Station de référence : L'utilisateur doit connaître à l'avance avec précision les coordonnées de cette station. De cette précision dépend la qualité des points mesurés avec le mobile. L'utilisateur s'attachera à trouver un point référencé (type IGN) sur lequel il viendra installer sa station de référence.

- Station mobile : Cette station est l'organe de mesure de la méthode. On positionne le récepteur sur le point inconnu.

Une fois l'acquisition simultanée terminée sur les deux récepteurs, un traitement des deux fichiers résultants permet de mesurer très précisément la distance entre les deux points. En effet grâce au mode différentiel la plupart des erreurs GPS pré-citées sont supprimées : la SA, les erreurs d'horloge des récepteurs et la ionosphère. Pour cette dernière, il est à noter que la distance séparant la station de référence du mobile est importante pour les récepteurs mono-fréquence, en effet, jusqu'à 20 Km on considère cette distance comme négligeable en regard de l'altitude du satellite.



En fait, pour les récepteurs mono-fréquence, la précision de la mesure GPS, au-delà d'une distance de 20 Km, varie comme le carré de la distance.

Les traitements :

Deux modes de traitement sont possibles :

- Le temps différé, ou post-traitement : les précisions dans ce cas varient en fonction du type de récepteur, de la distance séparant les deux points comme nous l'avons vu dans le paragraphe précédent, mais aussi en fonction de la méthode d'acquisition.

Méthodes d'acquisitions :

- **Le statique** : le principe du statique est de laisser pendant plusieurs heures les deux récepteurs en fonctionnement. Cette méthode est celle qui donne la meilleure précision. Des répétabilité inférieures au millimètre ont été observées dans cette configuration avec des récepteurs bi-fréquence haute précision TurboRogue d'ALLEN OSBORNE AS.

- **Le rapide statique** : Compte tenu des impératifs industriels cette méthode a été développée pour obtenir de bonnes précisions tout en ne restant que très peu de temps (de 5 minutes à 1 heure

suivant les récepteurs utilisés) sur le point à déterminer. Ceci permet de lever plusieurs points dans une même journée à une précision centimétrique.

- **Le cinématique** : la plupart des traitements cinématiques nécessitent une initialisation statique, c'est-à-dire de rester stationné quelques minutes sur le point de départ de la trajectoire. Cependant une nouvelle technique de résolution d'ambiguïté en vol (OTF) permet de s'affranchir de cette initialisation tout en conservant le même type de précision (centimétrique).

Ces traitements s'effectuent sur les phases. Un traitement sur les pseudo-distances uniquement est également possible mais donne sur la solution de navigation des précisions métriques.

- Le temps réel :

- **Le RTCM 104** : quelques récepteurs génèrent des corrections différentielles qui correspondent à la différence entre la position

mesurée par la station de référence et la position connue. Cette différence est alors transmise par liaison radio ou par modem à la station mobile sous un format standard RTCM 104 qui corrige alors sa propre position en temps réel.

- **Le traitement temps réel sur les phases** : des précisions centimétriques en temps réel sont aujourd'hui possibles grâce à ce mode de traitement, cependant il nécessite des liaisons de données puissantes (type QPSK), des récepteurs de bonne qualité et un traitement très poussé (logiciel SESAME de TERRASAT).

Conclusion

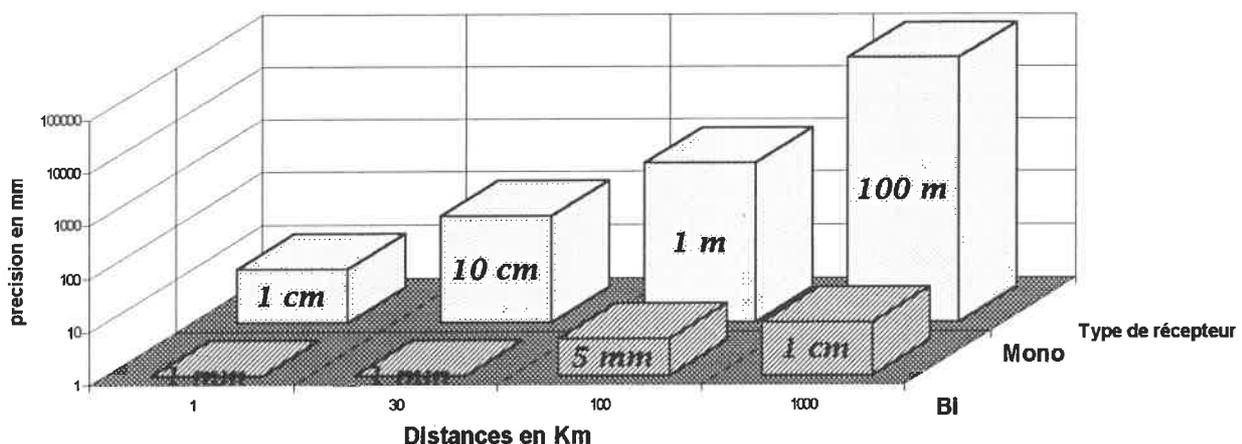
Comme nous venons de le constater à la lecture de cet article, le système GPS initialisé en 1981, devient le système de référence mondial de positionnement et de temps, validé par les services de recherche et développement des industries de pointe et la

communauté scientifique, nous assistons aujourd'hui à une véritable explosion de demandes dans des domaines aussi multiples que variés, notamment pour utilisation dans des applications professionnelles civiles (atterrissage d'avions, gestion de flottes, navigation, géodésie, cartographie...).

L'utilisation et la vulgarisation du système GPS nous font concrètement entrer dans le XXIème siècle. Le GPS devient l'outil permettant à l'homme d'étalonner son environnement dans des échelles de mesures fiables et ultra-précises pour des applications quotidiennes.

Le système, caractérisé et contrôlé par l'homme, évoluera dans les précisions et la fiabilité obtenues, mais offre d'ores et déjà des résultats dont l'exploitation nous apporte un gain de temps, une diminution des coûts et un luxe de précision en comparaison des outils de mesure du passé.

Comparaison Bi-fréquence / Mono-fréquence en fonction de la distance en différentiel statique



**TABLEAU RÉCAPITULATIF DES ORDRES DE GRANDEUR DE PRÉCISION GPS ACCESSIBLES EN MODE NATUREL,
SOIT AVEC 1 SEUL RÉCEPTEUR**

Technologie	Cryptage	Temps d'intégration	Précision	Solutions matériels E.S.T. <small>(NB: toutes sont dans le bas de la fourchette donnée)</small>
Mono fréquence	S/A off	Instantanée 5mn d'intégration 1 heure d'intégration 48 heures d'intégration	20-40m 20-30m 20-25m 20m	TerraSurv ou GPSCard ou XR4 ou XR5 TerraSurv ou GPSCard ou XR4 ou XR5 TerraSurv ou GPSCard ou XR4 ou XR5 TerraSurv ou GPSCard ou XR4 ou XR5
	S/A on	Instantanée 5mn d'intégration 1 heure d'intégration 48 heures d'intégration	100m 80m 50m 20m	TerraSurv ou GPSCard ou XR4 ou XR5 TerraSurv ou GPSCard ou XR4 ou XR5 TerraSurv ou GPSCard ou XR4 ou XR5 TerraSurv ou GPSCard ou XR4 ou XR5
Bi fréquence	S/A off-A/S off	Instantanée 5mn d'intégration 1 heure d'intégration 48 heures d'intégration	16-20m 10-16m 1-10m cm	TurboRogue TurboRogue TurboRogue TurboRogue avec traitement EST
	S/A on-A/S off	Instantanée 5mn d'intégration 1 heure d'intégration 48 heures d'intégration	16-20m 10-16m 1-10m cm	TurboRogue TurboRogue TurboRogue TurboRogue avec traitement EST
	S/A on-A/S on	Instantanée 5mn d'intégration 1 heure d'intégration 48 heures d'intégration	20-100m 20-806m 10-30m cm-50cm	TurboRogue TurboRogue TurboRogue TurboRogue avec traitement EST

**TABLEAU RÉCAPITULATIF DES ORDRES DE GRANDEUR DE PRÉCISION GPS ACCESSIBLES EN MODE DIFFÉRENTIEL,
SOIT AVEC 2 RÉCÉPTEURS (1 RÉF. + 1 MOBILE)**

Distances	Technologie	Méthode de traitement GPS	Précision	Solutions matériels E.S.T. (NB: toutes sont dans le bas de la fourchette données)
<30 km	Mono fréquence	Temps différé. Traitement sur les phases. Statique Rapide-Statique Cinématique avec ini statique Cinématique sans ini statique	1cm-10cm 5cm-20cm 5cm-50cm 5cm-80cm	(TerraSurv ou GPSCard) + Turbotopas (TerraSurv ou GPSCard) + Turbotopas (TerraSurv ou GPSCard) + Turbotopas (TerraSurv ou GPSCard) + OTF
		Temps différé. Traitement sur le pseudo-distance De statique à cinématique	1m-2m	NAVSTAR (XR4 ou XR5)
		Temps réel. Corrections RTCM104 De statique à cinématique	1m-5m	NAVSTAR et NOVATEL
		Temps réel. Traitement sur les phases De statique à cinématique	5cm-80cm	NOVATEL + SESAME
	Bi fréquence	Temps différé. Traitement sur les phases Statique Rapide-Statique Cinématique avec ini statique Cinématique sans ini statique	<1mm-10cm <1cm-20cm <1cm-50cm <1cm-80cm	TurboRogue + Turbotopas TurboRogue + Turbotopas TurboRogue + Turbotopas TurboRogue + OTF
		Temps différé. Traitement sur le pseudo-distance De statique à cinématique	50cm-2m	TurboRogue + logiciel adapté
		Temps réel. Corrections RTCM104 De statique à cinématique	40cm-5m	TurboRogue
		Temps réel. Traitement sur les phases De statique à cinématique	1cm-1m	TurboRogue + SESAME

Distances	Technologie	Méthode de traitement GPS	Précision	Solutions matériels E.S.T. (NB: toutes sont dans le bas de la fourchette données)
30 à 100 km	Mono fréquence	Temps différé. Traitement sur les phases. Statique Rapide-Statique Cinématique avec ini statique Cinématique sans ini statique	10cm-2m 50cm-5m 1m-5m 1m-5m	(TerraSurv ou GPSCard) + Turbotopas (TerraSurv ou GPSCard) + Turbotopas (TerraSurv ou GPSCard) + Turbotopas (TerraSurv ou GPSCard) + OTF
		Temps différé. Traitement sur le pseudo-distance De statique à cinématique	1m-10m	NAVSTAR (XR4 ou XR5)
		Temps réel. Corrections RTCM104 De statique à cinématique	1m-10m	NAVSTAR et NOVATEL
		Temps réel. Traitement sur les phases De statique à cinématique	1m-5m	NOVATEL + SESAME
		Temps différé. Traitement sur les phases Statique Rapide-Statique Cinématique avec ini statique Cinématique sans ini statique	<1mm-10cm <1cm-20cm <1cm-50cm <1cm-80cm	TurboRogue + Turbotopas TurboRogue + Turbotopas TurboRogue + Turbotopas TurboRogue + OTF
	Bi fréquence	Temps différé. Traitement sur le pseudo-distance De statique à cinématique	50cm-2m	TurboRogue + logiciel adapté
		Temps réel. Corrections RTCM104 De statique à cinématique	40cm-5m	TurboRogue
		Temps réel. Traitement sur les phases De statique à cinématique	1cm-1m	TurboRogue + SESAME

**TABLEAU RÉCAPITULATIF DES ORDRES DE GRANDEUR DE PRÉCISION GPS ACCESSIBLES EN MODE DIFFÉRENTIEL,
SOIT AVEC 2 RÉCEPTEURS (1 RÉF. + 1 MOBILE)**

Distances	Technologie	Méthode de traitement GPS	Précision	Solutions matériels E.S.T. (NB: toutes sont dans le bas de la fourchette données)
> à 100 km	Mono fréquence	Temps différé. Traitement sur les phases. Statique	15m-100m	Traitement non nécessaire (=mode naturel)
		Rapide-Statique	15m-100m	Traitement non nécessaire (=mode naturel)
		Cinématique avec ini statique	15m-100m	Traitement non nécessaire (=mode naturel)
		Cinématique sans ini statique	15m-100m	Traitement non nécessaire (=mode naturel)
		Temps différé. Traitement sur le pseudo-distance De statique à cinématique	15m-100m	Traitement non nécessaire (=mode naturel)
		Temps réel. Corrections RTCM104 De statique à cinématique	15m-100m	Traitement non nécessaire (=mode naturel)
		Temps réel. Traitement sur les phases De statique à cinématique	15m-100m	Traitement non nécessaire (=mode naturel)
	Bi fréquence	Temps différé. Traitement sur les phases Statique	<1mm-10cm	TurboRogue + Turbotopas
		Rapide-Statique	<1cm-20cm	TurboRogue + Turbotopas
		Cinématique avec ini statique	<1cm-50cm	TurboRogue + Turbotopas
		Cinématique sans ini statique	<1cm-80cm	TurboRogue + OTF
		Temps différé. Traitement sur le pseudo-distance De statique à cinématique	50cm-2m	TurboRogue + logiciel adapté
		Temps réel. Corrections RTCM104 De statique à cinématique	40cm-5m	TurboRogue
		Temps réel. Traitement sur les phases De statique à cinématique	1cm-1m	TurboRogue + SESAME

Pascal BUTZBACH et René CALLIER
vous prient de noter la création de

INBC SYSTEMES, Sarl.

36, rue Cheveul
69007 LYON

TÉL. : 72 73 14 28

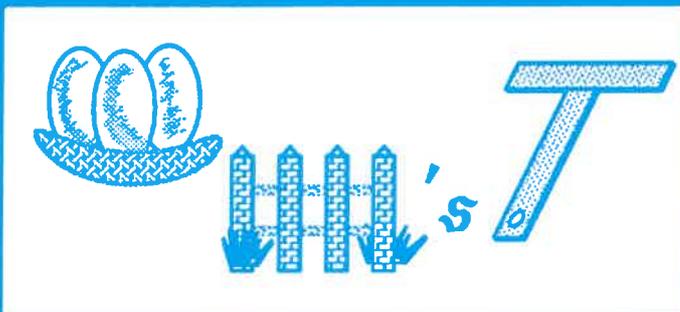
Fax : 72 73 22 08

spécialisée dans les domaines suivants :

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Commercialisation et intégration
S.I.G. - Assemblier ASCODES | <input type="checkbox"/> Photogrammétrie ROLLEIMETRIC |
| <input type="checkbox"/> Projiciel de topographie TOPOJIS | <input type="checkbox"/> Matériel informatique
installation et assistance |
| <input type="checkbox"/> Conception et Développement | <input type="checkbox"/> Formation |

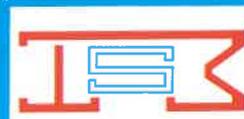
Rébus

Trouvez votre contact GPS !



*Les meilleures solutions GPS,
du mètre au millimètre...*

Réponse : E.S.T. (Equipements Services Techniques)
BP 12 - 91131 Ris-Orangis - Tél : 69259542 - Fax : 69259392



**ETUDE ET CONSTRUCTION DE LIGNES DE TRANSPORT
D'ENERGIE ELECTRIQUE**

79, rue Joseph-Bertrand - 78220 Viroflay

Tél. : (1) 39.24.47.47

Fax : (1) 39.27.44.48

Etudes de tracé - Relevés topographiques - Implantations
Conception de projet technique - Négociations foncières

Aux Editions Hermès, ouvrages sur les SIG et la cartographie

Les SIG et le Droit

Mémento-Guide Alain Bensoussan.

Le développement des SIG suscite de plus en plus d'interrogations sur le plan juridique chez des acteurs toujours plus nombreux sur un marché en forte expansion.

Les problèmes liés à la propriété des données géographiques et ceux relatifs à la responsabilité sont les plus souvent évoqués, mais les SIG peuvent en poser d'autres.

Cet ouvrage passe en revue les problèmes posés par les SIG : protection et propriété des bases de données, régime de copropriété, responsabilité, contrats et cessions de droits, utilisation et acquisition des SIG...

224 pages, 380 F.

Les SIG

*Technologies et mise en œuvre,
Henri Pornon, IETI.*

Tour d'horizon complet, cet ouvrage décrit les aspects méthodologiques, économiques, organisationnels, humains et institutionnels, puis les matériels, logiciels, données, applications. Des considérations sont faites sur le marché des SIG et leur avenir.

Un ouvrage de base destiné à devenir la référence en matière de SIG.

172 pages, 250 F.

Les données dans les SIG

Paul Rouet, APUR.

L'information géographique est devenue un domaine d'application de l'informatique qui intéresse des activités de plus en plus variées : production des cartes, gestion des villes, des réseaux, de l'environnement, de la circulation, des patrimoines, Défenses, recherche pétrolière, géologie...

Les données dans les SIG montre comment l'information géographique est créée, depuis les méthodes traditionnelles de levé de terrain jusqu'à la télédétection aérienne et spatiale. Il dresse le panorama des données géographiques disponibles en France (IGN, Cadastre, villes...). Il offre ensuite une analyse des diverses formes d'organisation et de gestion des données. Les modèles raster et vecteur sont clairement présentés, ainsi que les notions de topologie de réseau ou de surface. Un ouvrage complet, bien documenté, où les informaticiens comme les utilisateurs trouveront rassemblées les connaissances essentielles qu'ils doivent maîtriser pour se lancer dans les SIG.

280 pages, 320 F.

Actes de SIGGIS 92

Actes de la troisième conférence européenne sur les SIG et la Cartographie Assistée par Ordinateur.

Ils représentent un état de l'art complet d'un grand intérêt pour tous les utilisateurs et prescripteurs de SIG : cartographes, géographes, géomètres, professionnels de l'informatique, bureaux d'études et des méthodes...

320 pages, 480 F.

Conception et programmation par objets

Jacques Ferber. Laforia-Université Paris 6ème.

Aujourd'hui les langages objets bénéficient d'une ample diffusion. La puissance de la notion d'objet est désormais reconnue.

Néanmoins, si les principes en sont clairs, la technique requiert du programmeur un réel changement d'état d'esprit.

Didactique, cet ouvrage expose les principes de la programmation et de la conception par objets, la typologie des langages objets.

Conception et programmation par objets s'adresse à un large public soucieux de connaissances nouvelles, mais aussi aux informaticiens appelés à dépasser la conception classique de la programmation.

112 pages, 180 F.

Utilisation et administration du système Unix

Christian Pélissier. Onéra Chatillon.

Cet ouvrage traite des différentes versions du système d'exploitation Unix.

Il se démarque principalement des autres ouvrages sur ce sujet par son approche pragmatique, et par le fait qu'il présente à la fois l'utilisation et l'administration de ce système.

Ce choix résulte des constatations suivantes :

- un grand nombre d'ingénieurs et chercheurs pour lesquels l'informatique n'est qu'un outil sont amenés, du fait de la décentralisation de l'informatique, à assurer eux-mêmes l'administration de leur station de travail,
- les étudiants en informatique sont actuellement formés sur des systèmes Unix. Ils trouveront ainsi en un seul volume un ouvrage de référence sur ce système.

La première partie de cet ouvrage présente le système Unix du point de vue utilisateur. Elle s'adresse à tous les débutants, aux futurs développeurs et aux ingénieurs système. La deuxième partie aborde les divers aspects de l'administration en commençant par les opérations les plus élémentaires.

Les aspects réseaux, messagerie électronique, UUCP, X-Window et la sécurité sont successivement traités.

Les versions d'Unix couverte par cet ouvrage sont System V R2 et R3 d'AT&T ainsi que les versions BSD 4.2 et 4.3, à travers les implémentations particulières des constructeurs.

536 pages, 320 F.

Tous ces ouvrages aux "Editions Hermès", 34, rue Eugène Flachet, 75017 Paris.

INFORMATISATION DU PLAN CADASTRAL EN SAVOIE

Dans l'objectif de fédérer les informations géographiques dans un système informatique unique, le Conseil Général de la Savoie décidait le 25 mai 1992 de créer la SAEM INFOSAVOIE et de favoriser la numérisation du cadastre par une convention avec la Direction Générale des Impôts.

Outre sa participation par la mise à disposition de matériel informatique pour les trois centres du cadastre et la formation des agents prévue dans la convention, il s'engageait à accompagner l'aide financière apportée par la Direction Générale des Impôts par une subvention représentant suivant les communes 11 à 25 % du coût de la numérisation.

Cette convention permet aux communes qui le souhaitent de numériser leur plan cadastral dans un cadre conventionnel qui les assure de la mise à jour des données par les services du cadastre, d'aides financières de la DGI et du Département, et de l'homogénéité qualitative des données.

Le Département bénéficie dans cette action du soutien technique de la SAEM INFOSAVOIE chargée notamment de définir un cahier des charges, de vérifier les travaux réalisés, de conseiller les communes.

Après la Haute Savoie, le Vaucluse et l'Hérault, la Savoie devient le quatrième département français pour lequel une convention portant sur la numérisation de l'ensemble du département est signée.

Pour équiper les services fiscaux et départementaux ce sont les logiciels AFI-CEGI qui ont été choisis (comme en Haute Savoie). Les informations délivrées par ces produits répondront à la norme EDIGEO.

La société SIG, partenaire de la SAEM INFOSAVOIE a présenté aux élus et responsables les informations cartographiques déjà réalisées sur la vallée de la Maurienne avec le logiciel CJ ATLAS. Après les communes d'Albertville, Aix les Bains et la Motte Servolex informatisées avec les produits AFI CEGI, ce logiciel semble s'imposer comme le principal standard en la matière.

LE PLAN NUMÉRISÉ

En plus des versions graphiques traditionnelles, les utilisateurs sont de plus en plus nombreux à vouloir disposer d'un plan cadastral sous forme numérique, c'est-à-dire d'enregistrement magnétique des points et des lignes constituant les parcelles, les bâtiments et les autres éléments topographiques.

Depuis 1973, un plan cadastral numérique a été constitué suivant le format F.T.C. (Fichier Topographique Cadastral). Cette expérience est toutefois restée limitée à une dizaine de communes importantes (Paris, Lyon, Bordeaux, St Etienne, Belfort...).

Le développement des outils informatiques, l'évolution des techniques de gestion et les besoins de plus en plus importants des utilisateurs (Administrations, collectivités locales, aménageurs etc...) a accru la demande en informations géographiques sous forme numérique.

Dans ce contexte on assiste actuellement à un développement important de systèmes gérant, en mode informatique, des données géographiques. Ces systèmes d'Informations Géographiques utilisent notamment les données du plan cadastral en tant qu'éléments de base pour le support de l'information.

L'ÉVOLUTION ACTUELLE

Cette évolution a conduit la Direction Générale des Impôts à mettre en œuvre parallèlement deux types d'actions :

La première action vise à informatiser, avec les moyens propres de l'Administration, la production, la gestion et la diffusion du plan cadastral de l'ensemble du territoire (590 000 feuilles de plan et 100 millions de parcelles). C'est le projet P.C.I. (Plan Cadastral Informatisé) qui s'inscrit dans une perspective à long terme en raison de son ampleur et de son coût (estimé à 5 milliards de francs).

La seconde est tournée vers les besoins immédiats des usagers et permet de répondre à leurs demandes en données numériques. C'est la politique conventionnelle visant à coordonner toutes les actions relatives à l'informatisation du plan cadastral et permettant ainsi, en regroupant les moyens de différents partenaires, une informatisation rapide du plan cadastral.

LA POLITIQUE CONVENTIONNELLE CONDUITE PAR LA DIRECTION GÉNÉRALE DES IMPÔTS

Il s'agit pour la Direction Générale des Impôts, de définir, un cadre technique, juridique et réglementaire, visant à favoriser la numérisation et les échanges d'informations cartographiques cadastrales, tout en confirmant les droits et missions du Cadastre.

Cette politique conduite au plan national répond à une forte demande des Collectivités territoriales qui souhaitent constituer des systèmes d'informations géographiques adaptés à leurs besoins d'aménagement de l'espace.

Au plan local, cette politique se concrétise par une convention avec le Département de la Savoie, collectivité signataire.

ASPECTS JURIDIQUES DE LA CONVENTION

- Toute reproduction du plan cadastral, y compris dans le cadre du transfert sur support magnétique, est soumise à l'autorisation préalable de l'Administration, en vertu du droit d'auteur dont l'Etat est titulaire sur les documents cadastraux ;
- La mise à jour du plan cadastral, sous toutes ses formes, de même que la diffusion des produits purement cadastraux, relèvent de la compétence exclusive du Service du Cadastre ;

■ Tout en reprenant ces principes, la convention définit les droits et obligations de l'Etat et de la Collectivité signataire, selon le schéma suivant :

- le service du Cadastre procure au Département de la Savoie les plans-minutes de conservation en vue de leur numérisation ;

- les travaux de numérisation sont vérifiés par le service du Cadastre, qui attribue un label de conformité à la documentation cadastrale ;

- Ce Service met à jour régulièrement la trame cadastrale du S.I.G., condition indispensable à la viabilité du système d'informations géographiques ;

- En contrepartie le Département de la Savoie qui met à la disposition du Service du Cadastre le matériel nécessaire et assure la formation des agents, est autorisé à rediffuser des produits composites obtenus après traitement du plan cadastral, d'une part, et d'informations topographiques supplémentaires, d'autre part ;

- Cette licence de diffusion est cependant limitée aux produits composites.

LA PARTICIPATION FINANCIERE DE LA D.G.I.

Pour réduire le coût de la numérisation supporté par les partenaires locaux, la D.G.I. apporte son concours financier à hauteur de 20 % ou 30 % du coût réel des travaux, plafonné à 40 F. T.T.C. par parcelle numérisée. La limitation à 20 % s'applique aux communes dont le potentiel fiscal par habitant est supérieur à 1 800 F. ; celle de 30 % aux communes dont le potentiel fiscal par habitant est inférieur ou égal à 1 800 F.

Cette participation s'accompagne, indépendamment de la Convention, d'une contribution du Département.

LES DIFFÉRENTS TYPES DE CONVENTION

Avec les grands gestionnaires de réseaux

Conduite au niveau national, cette politique conventionnelle a déjà permis la signature de plusieurs protocoles. Celui signé le 14 janvier 1993 avec :

- L'Association des Maires de France,
- Le Conseil National de l'Information Géographique (C.N.I.G.),

- Le Ministère de l'Agriculture,
- Le Ministère de l'Equipement,
- L'Institut Géographique National (I.G.N.),
- L'Ordre des Géomètres Experts,
- E.D.F./G.D.F.,
- France Télécom,
- La Poste,
- La Lyonnaise des Eaux,

vient compléter la concertation déjà en vigueur, en rappelant, solennellement, les principes qui président à cette action de partenariat.

Avec les Collectivités locales

La numérisation du Plan Cadastral dans le cadre conventionnel, ainsi défini, concernait, au 31 décembre 1992, 952 communes pour une superficie de 1 723 206 ha, soit avec mise à jour, soit sans mise à jour (EDF).

LA POLITIQUE CONVENTIONNELLE SUIVIE EN SAVOIE

Le Préfet de la Savoie a confié, le 19 décembre 1992, au Directeur des Services fiscaux, la mission de négociier, avec le Conseil Général, la constitution d'un système d'informations géographiques de nature à répondre aux besoins des Collectivités du département.

Cette négociation s'est concrétisée par la signature d'un protocole. Ce protocole a vocation à couvrir l'ensemble des communes du département, même si le financement apporté par la D.G.I., quoique très important (4 427 824 F.) est, dans l'immédiat, circonscrit à une première tranche estimée prioritaire.

CONCLUSION

En conclusion, l'accord entre l'Etat et le Conseil Général de la Savoie en vue de numériser le Plan cadastral est doublement exemplaire. Il consacre la capacité des services de l'Etat et du Département à conduire une démarche concertée, en vue de satisfaire les besoins nouveaux du public.

Il confirme aussi le dynamisme de la Savoie qui figure ainsi parmi les tout premiers départements de France à s'engager dans ce processus de numérisation du Plan cadastral.



AGENCE FRANÇAISE INFORMATIQUE

Rue de la Maison Rouge - LOGNES
77322 MARNE-LA-VALLEE Cedex 2
Téléphone : (1) 60 17 12 34
Télécopie : (1) 64 62 01 31

11, Boulevard du Fier - 74000 ANNECY
Téléphone : (1) 50 67 07 56
Télécopie : (1) 50 67 04 90

Département CEGI

157, Cours Berriat
38028 GRENOBLE Cedex 1
Téléphone : (1) 76 48 13 10
Télécopie : (1) 76 70 22 15

Siège social : 18, Avenue de l'Abbaye - 77150 LESIGNY - S.A. au capital de 1 500 000 F. - R.C.S. Melun B 322 750 190 - APE 7703

LA QUALITÉ DES DONNÉES GÉOGRAPHIQUES

par Henri Pornon

1) Quelques lieux communs sur la qualité

"Des données de qualité sont indispensables à la réussite d'un projet de SIG".

"Des données précises sont des données de qualité".

"La qualité ça coûte cher".

"Des données de qualité, ça se paye".

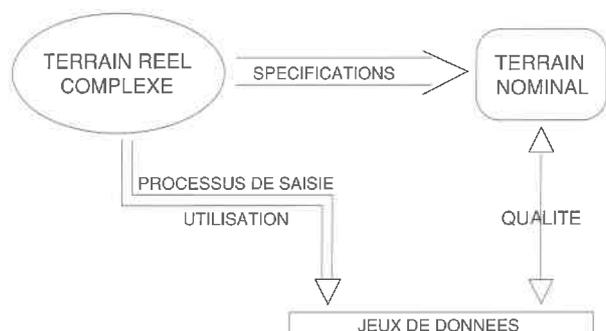
Ces quelques lieux communs montrent que la notion de qualité est un concept utilisé couramment dans le domaine des données géographiques, même si elle est difficile à cerner. Ils mettent également en évidence le fait qu'une clarification est nécessaire.

2) Définition de la qualité

La norme internationale ISO 8402 qui précise le vocabulaire de la qualité définit la qualité de la façon suivante : "ensemble des propriétés et caractéristiques d'un produit ou service qui lui confèrent l'aptitude à satisfaire des besoins exprimés ou implicites".

Cette définition se transpose facilement au domaine des données géographiques. Les besoins des utilisateurs permettent de définir des spécifications qui serviront de fondement à la définition de la qualité d'un jeu de données.

Le graphique suivant (extrait d'un schéma de la norme française EDIGEO pour l'échange de données géographiques) illustre cette notion :



La notion de qualité ne s'applique pas à la comparaison du terrain réel (trop complexe et trop dense) avec un jeu (ou une base) de données, mais à la comparaison du jeu de données avec le terrain nominal, qui est la vision qu'a l'utilisateur du terrain réel à travers ses besoins, traduits en spécifications.

Ainsi, les rues d'une ville seront traduites en des terrains nominaux différents par des utilisateurs de SIG différents. La société de livraison à domicile souhaitera une représentation filaire sous forme de graphe topologique, de précision ordinaire (métrique) mais incorporant toutes

les rues. Le service municipal chargé de la délimitation domaine public/domaine privé souhaitera une représentation surfacique des limites d'îlots avec une précision décimétrique. Le transporteur national souhaitera une représentation filaire des principaux axes de trafic et des zones industrielles de la ville.

Un plan topographique ou photogrammétrique satisfera les exigences de qualité du deuxième cas, mais pas du premier ni du troisième.

On remarquera enfin que dans la définition de la norme, les besoins peuvent être implicites ou explicites. on peut effectivement considérer qu'un utilisateur qui commande un plan topographique s'attend implicitement à un certain résultat : précision de lever, symbolisme de représentation, choix des objets à représenter.

Pour une carte routière numérique, il n'a pas non plus besoin d'explicitement le fait que celle-ci doit comporter des villes reliées par des routes, dans une organisation permettant la recherche d'itinéraires.

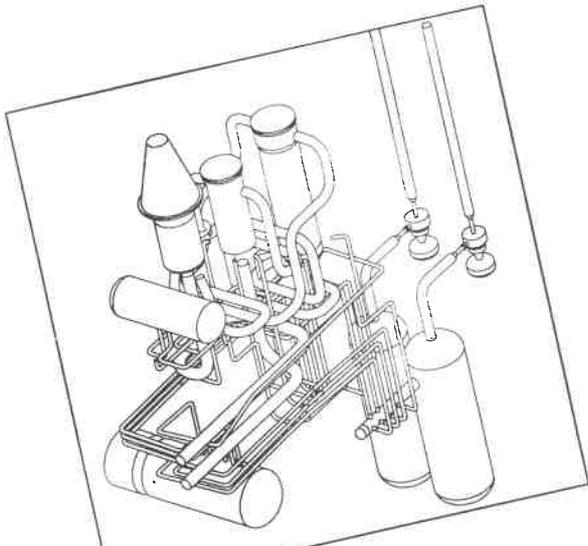
Cependant, dans ces deux cas, certains aspects des besoins ne sont pas forcément implicites : pour le plan topographique, quelle organisation en couches est requise ? Pour la carte routière, combien de routes et de villes sont nécessaires. Toutes les communes, tous les hameaux ? Toutes les petites routes ou seulement les principales ?

3) Du terrain réel au terrain nominal ?

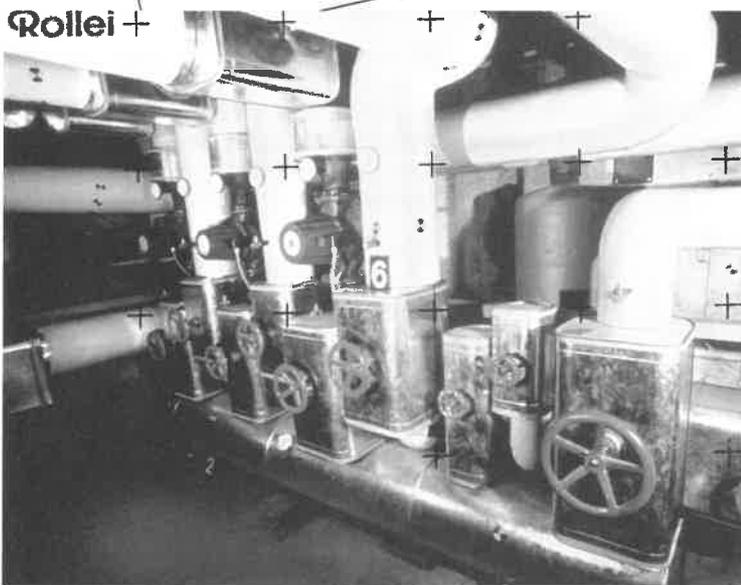
Que définit l'utilisateur quand il spécifie son terrain nominal ?

- Le système de coordonnées de référence (Lambert II et NGF)
- La précision géométrique de la planimétrie et de l'altimétrie (planimétrie en précision décamétrique, altimétrie en précision métrique)
- Le territoire concerné (le bassin versant de la Seine)
- Le choix des objets à saisir (les cours d'eau, les limites communales, les installations polluantes, les stations d'épuration, les points de mesure de pollution et de débit).
- Pour chaque objet :
 - Le mode de sélection : les cours d'eau de longueur supérieure à 1 Km, toutes les stations d'épuration, les points de mesure gérés par l'Agence...),
 - L'organisation graphique : les limites communales en polygones fermés, les cours d'eau sous forme d'un graphe arborescent...),
 - Les attributs attendus (nom et population de la commune...),

Photogrammétrie : Rolleimétric



Photographiez et mesurez en 3 D !



Prise de vues :

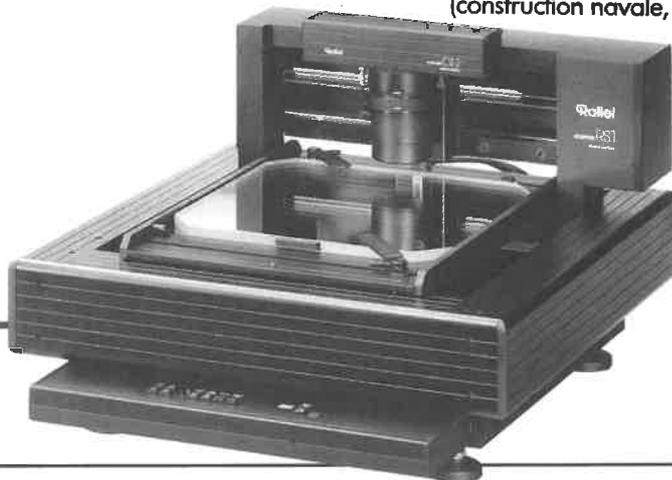
Diversité des formats et des optiques pour faire face aux situations les plus difficiles.
Précision relative : 10^{-5} si nécessaire.

Mesure des clichés :

Le scanner RST mono-comparateur "intelligent", automatique.
Le principe original du réseau-scanning permet d'atteindre une précision réelle du micromètre.
Interface CAO/DAO.

Applications industrielles :

- Relevé et modélisation 3D d'installations complètes (Piping).
- Mesure 3D de déformations (essais de "crash").
- Mesure 3D en dynamique (stroboscope).
- Contrôle de grosses pièces avant assemblage (construction navale, aéronautique).
- Modélisation de formes complexes.
- Surveillance de terrains instables, évaluations de volumes.
- Mesures en milieu hostile (nucléaire, chantiers sous-marins)



Pour recevoir la documentation Rolleimétric :

Rollei
fototechnic

INBC Systèmes
Monsieur Butzbach
36, rue Chevreur
F - 69007 Lyon
Tél. : /Fax : 72.73.22.08

Le Pont Equipement
Monsieur Launois
Z.I. Seyssuel - B.P. 66
F - 38206 Vienne Cedex
Tél. : 74.31.41.21 - Fax : 74.85.16.73

Maury Informatique
Monsieur Maury
Bellevue
F - 56250 Saint-Nolff
Tél. : 97.45.42.65

- Le type de primitive graphique (station d'épuration par des points, zones d'épandage par des polygones...) et le choix de modèles mathématiques (courbes lissées polynomiales ou non...).

- Les relations entre objets (exemple : relation station d'épuration rejette son eau dans cours d'eau).
- etc...

4) Du terrain réel à la base de données

Le producteur de données va s'efforcer de mettre en œuvre un processus de production capable de satisfaire les exigences de l'utilisateur pour fournir un produit répondant aux spécifications.

Les lots de données qu'il va livrer vont être comparés aux critères énoncés dans le paragraphe précédent, mais aussi à d'autres critères de qualité relatifs aux données et à la prestation.

4.1) Critères de qualité relatifs à la prestation

- planning d'exécution et de livraison,
- type d'édition graphique à fournir,
- seuils de conformité des données avec les spécifications.

L'utilisateur définira par exemple comme acceptable les cartes numérisées dans lesquelles 95% des cours d'eau de plus de 1 Km auront été saisis.

- format des fichiers à livrer,
- mode de réalisation de la prestation : l'utilisateur exigera par exemple certains matériels, logiciels ou périphériques ou certaines technologies ou méthodes (vectorisation semi-automatique plutôt que digitalisation). Le calage entre elles pour assurer la continuité de la base de données devra être réalisé d'une certaine façon. Les choix à opérer quand il existe des sources multiples pourront aussi être prédéfinis.

4.2) Critères de qualité sur les données concernées par la prestation

- Validité dans le temps des informations. L'utilisateur peut souhaiter savoir, par exemple dans le cas d'un lever topographique ou photogrammétrique, la date de réalisation du lever.
- Origine des informations. Dans le cas où le producteur mélange plusieurs sources, l'origine de chaque information peut devoir être fournie avec le lot de données.

La question se pose alors de savoir comment comparer le lot de données au terrain nominal (rappelons que la comparaison avec le terrain réel n'a pas de significations, même si le contrôle peut s'exercer en visitant le terrain réel).

5) Le contrôle du lot de données

5.1) Pas de contrôle

L'utilisateur court tout simplement le risque de disposer d'une base incohérente et inutilisable. C'est par exemple le cas de collectivités qui font réaliser une digitalisation du fonds de plan cadastral sans contrôle ni spécifications et découvrent, à la première tentative de

réaliser une carte thématique à la parcelle, qu'il s'agit d'un document non structuré contenant tous les traits et symboles du document papier initial, mais ne disposant ni de parcelles, ni des îlots, ni des bâtiments...

5.2) Démarche traditionnelle : contrôle du produit

La production de données géographiques est encore très souvent un processus artisanal. Le producteur réalise la prestation demandée par son client et réalise parfois mais pas toujours un contrôle avant livraison. Le client contrôle le lot de données, identifie des erreurs, renvoie le lot des données pour corrections. Le producteur corrige et renvoie les données corrigées. Le client contrôle à nouveau...

Dans un grand nombre de cas, ce type de contrôle coûte très cher aux deux acteurs. Les corrections vont réduire la marge du producteur et dans certains cas rendre la prestation non rentable. Chacun sait que la modification des données géographiques coûte beaucoup plus cher que leur création ou numérisation. Le contrôle coûte également cher à l'utilisateur, qui va être obligé de consacrer beaucoup de temps à dépister les erreurs contenues dans les lots de données.

La qualité du résultat final est par ailleurs difficile à garantir car elle dépend de la quantité de contrôles exercés par l'utilisateur et du sérieux des corrections ou de la prestation initiale du producteur.

5.3) Démarche qualité de premier niveau : contrôle de processus

De plus en plus de producteurs de données géographiques, notamment ceux dont l'approche est plus industrielle qu'artisanale, incorporent au processus de production les contrôles qui leur permettront de connaître avant livraison la valeur du produit livré et de corriger les erreurs au fur et à mesure.

Ceci a pour conséquence que les erreurs détectées par l'utilisateur au contrôle sont moins nombreuses et que le taux de retour de lots de données pour correction est beaucoup plus faible. Le producteur en tire donc un double avantage, économique (rentabilité de la production) et stratégique (satisfaction et confiance du client).

Le client, s'il a confiance dans le processus de production du producteur, peut également en tirer un double avantage : il réduit le nombre de contrôles et disposera de données d'une qualité mieux maîtrisée.

5.4) Démarche qualité de deuxième niveau : management de la qualité

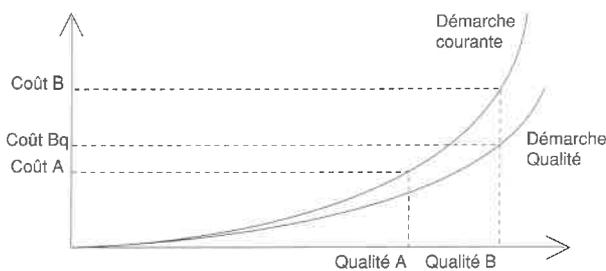
Le producteur, qui ne se contente pas d'intégrer des contrôles à son processus de production, mais met en place une organisation du personnel et des méthodes de travail orientées vers la recherche de la qualité et peut faire la preuve à son client de cette prise en compte de la qualité, va offrir des garanties à son client. Celui-ci aura l'assurance que le producteur contrôle sa prestation et pourra donc limiter son propre contrôle.

C'est l'objectif des démarches de certification dans le cadre des normes ISO 9000.

Le producteur de données, après avoir mis en œuvre une démarche qualité interne, fera certifier sa démarche par un organisme certificateur (en France, l'AFAQ).

5.5) La qualité, une démarche économique

Le graphique suivant illustre que le débat sur la qualité est avant tout économique. A niveaux de qualité différents ($A < B$) correspondent des coûts variant dans le même sens ($\text{coût } A > \text{coût } B$). En revanche, pour un niveau de qualité donné (Qualité B), la production de données dans le cadre d'une démarche qualité coûte moins cher ($\text{coût } Bq < \text{coût } B$). Le débat sur la qualité contient souvent la confusion entre ces deux aspects, entretenue par la difficulté qu'ont les utilisateurs à définir explicitement leurs besoins. Il ne faut donc pas confondre le premier aspect ("Il y a mieux, mais c'est plus cher") avec le second ("Si vous savez ce que vous voulez, la démarche qualité coûte moins cher à résultat identique et garantit mieux le résultat").



6) La mesure de la qualité sur le lot des données

Si le producteur est certifié ou peut justifier d'un plan d'assurance qualité, le client va limiter les contrôles à quelques sondages ou va faire totalement confiance au producteur. Dans le cas inverse, le client va chercher à mesurer la qualité du lot de données.

6.1) Mesure par la manipulation des données

Le contrôle du lot de données peut s'avérer être une opération longue et délicate, si le client souhaite vérifier un grand nombre de critères. La vérification de la concordance du lot de données avec le terrain nominal peut nécessiter de nombreuses manipulations sur les données : superposition avec d'autres documents graphiques, mesures de contrôle sur le terrain, exécution de requêtes dans la base de données, calculs particuliers ...

6.2) Fourniture de l'information sur la qualité avec le lot de données

C'est le principe de la boîte de petits pois. Il ne viendrait à personne d'ouvrir toutes les boîtes de petits pois extra-fins avant l'achat pour vérifier que les petits pois sont réellement extra-fins. C'est écrit sur la boîte.

On peut espérer que dans une avenir proche, il sera possible de connaître la qualité d'un lot de données par simple lecture d'une série de caractéristiques dans l'en-tête du fichier. Ceci suppose deux conditions : que les valeurs fournies par le producteur inspirent confiance (intérêt d'une certification qualité) et que les critères et leurs valeurs soient normalisés.

La norme d'échange de données géographiques EDI-GEO, utilisée en France et proposée au niveau européen, permet de fournir neuf critères de qualité dans un échange : généalogie, actualité, précision planimétrique, précision altimétrique, précision métrique, exhaustivité, précision sémantique, cohérence logique, qualité spécifique.

7) La qualité, une évidence ?

Au-delà de l'évidence pour chaque producteur de souhaiter fournir des lots de données de qualité et pour chaque utilisateur d'exploiter une base de données de qualité, on peut constater que le débat sur la qualité comporte un certain nombre d'exigences qui représentent un bouleversement culturel pour chacun des interlocuteurs.

Pour l'utilisateur, s'engager dans la recherche de données de qualité suppose de pouvoir clairement exprimer ses besoins au producteur et donc de savoir ce qu'il veut et comment il le veut. Cela suppose également d'établir une relation différente avec le producteur, non plus basée sur la recherche du plus bas prix, mais sur la confiance.

Pour le producteur, il s'agit de réorganiser complètement le processus de production pour définir correctement les phases automatisées, les phases manuelles et les contrôles internes. Il s'agit de remplacer aussi une perception du client ("j'ai eu le marché à très bas prix, il en aura pour son argent") par une autre ("je cherche le meilleur moyen de satisfaire ses exigences et de lui faire la preuve de mon aptitude").

On voit bien qu'il faut des deux côtés une évolution à la fois technique et culturelle. Cette évolution est cependant nécessaire pour améliorer la qualité des bases de données.

BIBLIOGRAPHIE

AFNOR, 1992, Recueil de normes françaises, Série "Gérer et assurer la qualité", tome 1 : concept et terminologie, 392 pages et tome 2 : management et assurance de la qualité, 376 pages, Edition AFNOR.

BARBAUX Anne, 1993, La qualification des données géographiques, 9 pages, Articles Informations Localisées N° 17, N° 18 et N° 19, Editions IETI.

BARBAUX Anne, 1993, La qualité des données dans les systèmes d'information géographiques, 60 pages, Mémoire de fin d'études de l'Ecole Supérieure des Géomètres Topographes (PARIS, CNAM).

BESQUEUT Jean-Yves, 1993, Formats d'échange et normalisation de l'information géographique numérique, 31 pages, Convention Hermès SIG, Editions Hermès.

CHOLVY Brigitte, 1993, La qualification dans le domaine de l'information géographique, 2 pages, Article Informations Localisées N° 15, Editions IETI.

CNIG, 1992, Norme Française Z 13-150, Echanges de données Informatisés dans le domaine de l'information GEOgraphique - (EDIGEO), 382 pages, Editions AFNOR.

FAIN M.A., 1991, Conversion de données, le zéro défaut est-il possible ? , 6 pages, Article de la revue GIS WORLD. Traduit dans Informations Localisées N° 7.

JOLY René, 1992, L'information géographique et la qualité, 4 pages, Actes du colloque FI3G.

JURAN Joseph, 1987, La qualité dans les services, 209 pages, Editions Eyrolles, Afnor Gestion.

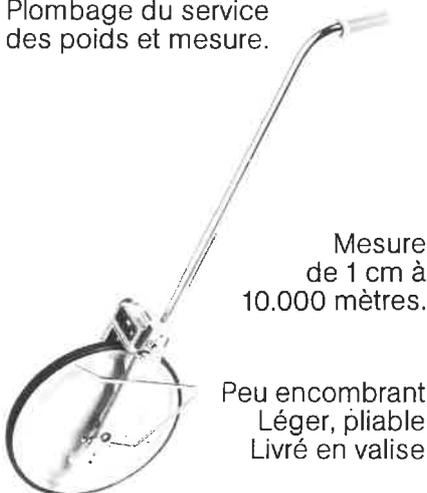
SAPORITI Nicolas, 1993, Contrôle de qualité des bases de données vecteur, 21 pages, Actes de la journée géographie et défense, CNIT-Paris-La Défense, Conférence "qualité des données géographiques", organisée par Ortech, la Délégation Générale pour l'Armement et l'Etat-Major des Armées (CGI).

VEILLET Isabelle, 1993, Qualité des données, 20 pages, Réflexion du groupe de travail qualité du CNIG.

ZUMSTEEG Alain, 1993, Etude sur la qualité d'une base de données "référence terrain", 9 pages, Actes de la journée géographie et défense, CNIT-Paris-La Défense, Conférence "Qualité des données géographiques", organisée par Ortech, la Délégation Générale pour l'armement et l'Etat-Major des Armées (CGI).

ODOMETRE

Mesure de distance
au sol.
Devis de travaux
routiers, urbains,
canalisations.
Modèle réglementaire.
Plombage du service
des poids et mesure.



Mesure
de 1 cm à
10.000 mètres.

Peu encombrant
Léger, pliable
Livré en valise

Etablissements BURNAT
89, rue d'Hauteville - 75010 PARIS
Tél. : (1) 47.70.09.73
Télécopie : (1) 48.24.03.41

BURNAT
Autres fabrications : curvimètres toutes échelles

DES REPONSES A TOUTES VOS QUESTIONS



BORNES et BALISES
Zone Industrielle - B.P. 14
17290 Aigrefeuille-d'Aunis
Tél. : 46.27.54.00
Fax : 46.27.50.81



Photogrammétrie
Métrie industrielle
Surveillance géodésique
de mouvements de terrain

30, ans d'expérience et de progrès continu
Écart-type des mesures
contractuellement garanti

PARIS La Défense,
4, rue de l'abreuvoir, 92400 COURBEVOIE
(FRANCE)

Tél. (33) 76.90.43.54

Fax (33) 76.90.19.87

GÉOMETRES SANS FRONTIÈRES * Spécial Bolivie

POTOSI, petite ville minière de **BOLIVIE**, située à 4 000 mètres d'altitude est tristement connue par son histoire, foyer d'exploitation de l'argent au bénéfice des Espagnols lors de la colonisation. Aujourd'hui, c'est une ville affaiblie, sans aucune source de travail hormis la mine qui est pratiquement épuisée et une agriculture pauvre en altitude.

C'est dans cette ville que **Géomètres Sans Frontières** effectue une mission depuis bientôt 2 ans maintenant, grâce à **Thierry Michalot, volontaire G.S.F., et sa femme**. Mission dure mais où l'on constate qu'avec peu de moyens, il est possible de réaliser beaucoup de petits travaux simples qui permettent une amélioration notable dans la vie des gens. Mission dure car POTOSI qui était une des villes les plus riches du monde en 1960 est devenue une des plus pauvres, que ses richesses n'ont jamais pu profiter directement aux paysans et surtout que personne n'a jamais été préparé à l'avenir.

Thierry Michalot, œuvre donc là-bas afin d'apporter, à ces paysans qui "bougent" pour leur pays, un soutien moral et matériel qui soit durable pour qu'ils puissent aller de l'avant.

Depuis deux ans donc, plusieurs projets sont en cours :

- **Chemin de TALULA-PISAQUIRI** : le projet est en bonne voie, 70% du chemin est réalisé. Un gros travail de terrassement et de mur de soutènement a été effectué par les paysans avec seulement quelques pelles et pioches et beaucoup de volonté car il faut du courage pour entreprendre une telle œuvre. Plus de mille hommes, femmes et enfants travaillent sur le chemin chaque jour (voir photo). Pour la réalisation de ce projet, plusieurs partenaires ont participé, chacun formant ainsi un maillon de la chaîne. Partage Sans Frontières a fourni les outils nécessaires, G.S.F. l'assistance technique en collaboration avec ATEC (Apoyo Tecnico y Educativo a la Comunidad).

- **Chemin OCKRORURO-TALULA** : ce projet consiste à l'ouverture et à la réfection de 21 kms de chemin. Dans



une premier temps ce sont les communautés qui doivent élargir la partie du chemin existant (8 kms), puis G.S.F. leur tracera le nouveau chemin. Les partenaires sont les mêmes que pour le chemin précédent.

- **Habitation à caractère social (sur POTOSI)** : cette mission a démarré depuis Avril. Projet qui n'est pas facile à réaliser car il faut adapter les maisons au terrain.

Après l'implantation, G.S.F. fera le suivi et la surveillance des constructions.

- **Projet Agro-forestal TALULA PISAQUIRI** : pendant 2 semaines Thierry Michalot et un des ses compagnons se sont transformés en agromomes. Il y avait, en effet, une possibilité de financement pour un projet de production (horticulture, plantation de figuiers de Barbarie, pâture pour les animaux) qui permettait aux paysans bénéficiaires (180 familles) d'améliorer la qualité de leur alimentation et de commercialiser éventuellement une partie des excé-

dents. Le projet vient d'être accepté, mais Thierry Michalot attend quand même la réponse écrite car tout peut se produire d'autant plus en période électorale ...

- **Etude du Canal d'irrigation CHAWARANI** : projet qui a repris en Février après une interruption. Relevé de 4 kms qui s'est bien passé bien que difficile à cause des cactus très nombreux dans cette région.

- **Etude du Canal CHALVIRI** : toute la partie Ingénierie est faite. La RECHERCHE DE FINANCEMENT est en cours ...

Plus de 1000 familles ont confiance en G.S.F. qui leur apporte par son soutien un suivi technique qui se voudrait durable.

Mais il faut encore trouver de nombreux appuis pour permettre aux époux Michalot de poursuivre cette mission d'aide aux paysans de l'altiplano Bolivien, mission qui leur tient à cœur et que François Michalot racontera sûrement un jour sous forme de roman. En attendant ce "best Seller", il nous faut toujours compter sur votre participation, les fonds s'épuisent.

* GSF. Maison des Professions Libérales, Parc du Millénaire, 285, rue A. Nobel - 34000 Montpellier - Tél : 67 69 75 16 - Fax : 67 64 20

L'ASTROLABE

par Raymond d'Hollander, ingénieur général géographe

INTRODUCTION

Le présent article est la rédaction que nous avons demandée à M. d'Hollander du contenu de la remarquable conférence qu'il a prononcée le vendredi 11 juin au Musée Paul Dupuy de Toulouse, devant des membres de l'Association des Amis de ce Musée et devant des membres de l'A.F.T., réunis en colloque à l'Ecole Nationale du Cadastre à Toulouse.

Lors de deux séjours à Toulouse M. d'Hollander a étudié de façon approfondie les quatre astrolabes du Musée Paul Dupuy ; il a rédigé les résultats de cette étude, qui font l'objet d'une publication conjointe de la Mairie de Toulouse et de l'A.F.T. intitulée "L'astrolabe. Les astrolabes du Musée Paul Dupuy". On peut se procurer cet ouvrage en remplissant le bon de souscription prévu en bas de la plaquette publicitaire diffusée par l'A.F.T. Quelques renseignements sur le contenu de cette publication sont données à la fin du présent article.

Le Comité de rédaction de XYZ

1. L'ASTROLABE PLANISPHERIQUE

1.1 Les différents types d'astrolabes

Astrolabe signifie en grec "preneur d'astres" ; aussi le terme est-il utilisé pour désigner différents instruments astronomiques :

- ▲ l'astrolabe de Ptolémée, qui est une sphère armillaire d'observation,
- ▲ l'astrolabe sphérique, dont nous évoquerons le principe,
- ▲ l'astrolabe nautique,
- ▲ l'astrolabe moderne à bain de mercure, pour les déterminations astronomiques à hauteurs égales,
- ▲ l'astrolabe planisphérique classique, que l'on peut déduire de l'astrolabe sphérique au moyen de deux projections stéréographiques polaires. Deux astrolabes du Musée Paul Dupuy sont de ce type : celui de l'horloge astrolabique d'Habrecht et celui d'Abù-Bakr, auquel est consacré l'essentiel de cet exposé. Ces astrolabes comportent des **tympan**s, qui ne sont valables que pour une latitude donnée,
- ▲ l'astrolabe-quadrant est la réduction à l'un de ses quarts de l'astrolabe planisphérique,
- ▲ l'astrolabe universel valable pour toutes les latitudes, de type **saphaea** ou astrolabe **catholique**, dont le Musée Paul Dupuy possède un exemplaire, gravé sur l'une des faces du quart de cercle de Descrolières, unique en son genre. L'autre face de ce quart de cercle comporte un autre astrolabe universel à **table des horizons**.

1.2 L'astrolabe planisphérique d'Abù-Bakr ; ses principaux éléments constitutifs

Le corps de l'astrolabe d'Abù-Bakr est constitué d'un plateau circulaire de 3 mm d'épaisseur et d'environ 13 cm de diamètre, en laiton et argent, plat d'un côté, qui correspond au **dos** de l'instrument, creusé de l'autre côté en une cavité cylindrique appelée "**mère**", destinée à recevoir sept disques portant sur chacune de leurs faces un **tympan**, valable pour une latitude donnée. Six disques comportent douze tympan astronomiques, s'échelonnant de la latitude de La Mecque, $\phi = 21^{\circ}40'$ à celle de Saragosse $41^{\circ}30'$.

Le septième disque est gravé recto-verso de deux tympan astrologiques.

La figure 1 extraite de la Revue **Olifant**, publiée par l'Association des Amis du Musée Paul Dupuy, représente un éclaté où cinq disques sont engagés dans la mère et immobilisés par des tenons s'encastrant dans une sorte de mortaise ; deux disques ont été dégagés de la mère. On place au dessus le tympan correspondant à la latitude d'utilisation et l'on recouvre l'ensemble par l'**araignée**, que l'on fixe avec une clavette engagée dans la fente de l'**essieu**, qui traverse de part et d'autre l'instrument, y compris l'**alidade**.

La couronne en saillie de la mère comporte un **limbe** gradué en degrés dans le sens horaire, dont le zéro se trouve sous l'anneau de suspension et correspond au méridien supérieur.

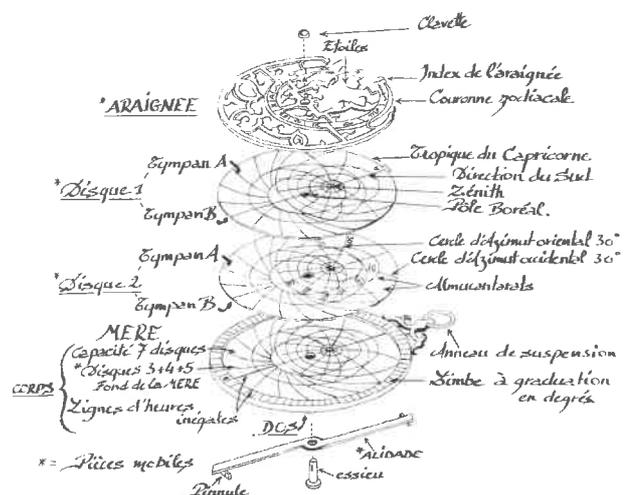


Fig 1 Les différents éléments constitutifs d'un Astrolabe démonté (R d'HOLLANDER)

Dessin: Gabriel Benoit

FIGURE 1

L'astrolabe doit être tenu avec une main verticalement, le plan du plateau étant dirigé dans le plan vertical de l'astre, un ou deux doigts de la main passant à travers l'anneau de suspension prévu à cet effet.

L'alidade est munie de deux **pinnules** comportant chacune un trou appelé **œilleton**, permettant de pointer les astres. Pour pointer une étoile, on place l'œil contre la pinnule inférieure et avec l'autre main, on tourne l'alidade jusqu'à voir l'étoile à travers l'œilleton de la pinnule supérieure. Pour pointer le soleil on fait tourner l'alidade jusqu'à ce que les rayons du soleil, traversant les deux œilletons, forment une tache lumineuse sur un support placé sous la pinnule inférieure.

2 LA SPHERE CÉLESTE LOCALE ; LE TYMPAN CORRESPONDANT

Considérons un lieu donné de **latitude** φ et en ce lieu un observateur O : construisons une sphère de rayon quelconque ayant O pour centre. Soit (HH') le grand cercle de cette sphère, parallèle à l'horizon du lieu ou à la surface d'un liquide au repos ; on appelle ce grand cercle le **cercle horizon** du lieu (fig. 2).

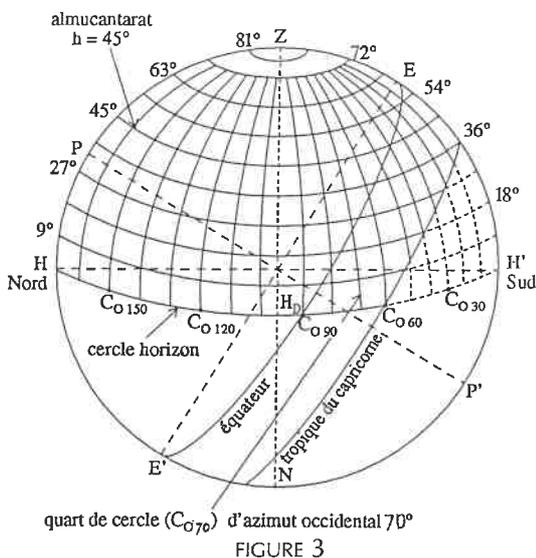
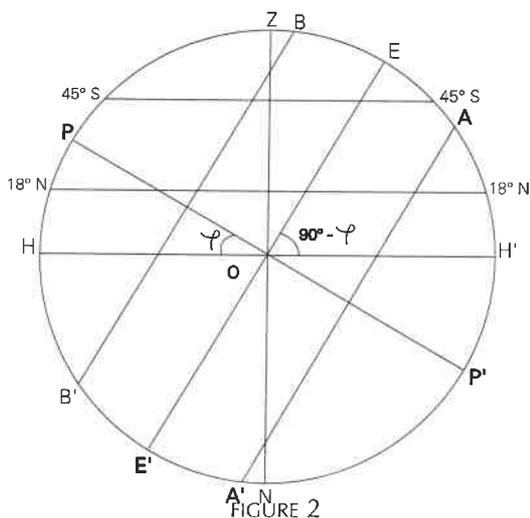


FIGURE 3

(1) On appelle hauteur d'un astre S l'angle que fait la direction OS avec le plan de l'horizon

(2) On appelle azimut d'un astre S l'angle que fait le plan vertical passant par l'astre avec le plan du méridien supérieur ; à l'astrolabe on compte les azimuts de 0 à 180°, à l'Est ou à l'Ouest par rapport au Sud.

(3) On appelle déclinaison d'un astre sa distance sphérique à l'équateur, comptée positivement dans l'hémisphère céleste boréal et négativement dans l'hémisphère céleste austral

L'axe du monde autour duquel s'effectue la rotation apparente de la sphère céleste étoilée perce la sphère locale en deux points P et P'. P est le **pôle céleste boréal**, P' le **pôle céleste austral**.

Par définition la **latitude** φ du lieu est l'angle que fait PP' avec le plan horizontal (HH') ; c'est aussi la **hauteur**⁽¹⁾ du pôle P au dessus de l'horizon. Pour fixer les idées nous prendrons le cas de $\varphi = 31^\circ$, latitude de Marrakech, ville où a été réalisé l'astrolabe d'Abû-Bakr (fig 2)

Considérons la verticale du lieu passant par O ; elle perce la sphère locale considérée en deux points Z et N : Z correspondant à la verticale ascendante est le **zénith**, N correspondant à la verticale descendante est le **nadir**. Le plan vertical qui contient l'axe PP' et la verticale ZN est appelé plan **méridien** du lieu O ; il coupe la sphère céleste locale selon un grand cercle appelé **cercle méridien** du lieu, situé dans le plan de la figure 2. Dans ce plan la direction de Z vers P est le **Nord**, la direction opposée le **Sud**.

Sur cette sphère considérons toute une série de cercles parallèles à (HH') de hauteurs (1) : 3°, 6°, 9°, 12°, 15°, 18°... 45°... ; seuls les cercles de hauteurs 18° et 45° sont représentés sur la fig. 2 par leurs diamètres 18° N - 18° S et 45° N - 45° S ; ce sont les **cercles de hauteurs égales** ou **almucantarats** ; nous les avons représentés à raison de 1 sur 3, c'est-à-dire écartés de 9° sur la fig. 3.

Sur cette même figure nous avons représenté aussi une série de quarts de grands cercles passant par ZN, écartés de 10° par rapport au méridien ; ce sont les **cercles d'égal azimut**⁽²⁾ Ouest, situés en avant du méridien pris comme plan de figure, en arrière duquel se trouvent les cercles d'azimut Est. Revenons à la figure 2 et considérons le grand cercle (E'E), appelé **équateur céleste**, qui divise la voûte céleste en deux hémisphères : l'**hémisphère boréal** et l'**hémisphère austral**. Traçons parallèlement à (E'E) le cercle BB' représentant le **tropique céleste du Cancer** et le cercle AA' représentant le **tropique céleste du Capricorne**, ces deux cercles ayant respectivement pour **déclinaisons**⁽³⁾ : + ϵ et - ϵ . L'angle ϵ est appelé **obliquité de l'écliptique** ; nous y reviendrons ci-après.

La sphère que nous venons de décrire est appelée **sphère céleste locale** parce que ses éléments sont liés à la position du lieu O sur le globe terrestre. Les coordonnées **hauteur** et **azimut** d'un astre sont dites **coordonnées locales** de cet astre ; on peut les mesurer au théodolite.

2.1 Tympan astronomique correspondant à la latitude $\varphi = 31^\circ$

Reprenons la coupe de la sphère céleste locale de la fig 2 et reportons la fig 4a. Le tympan de latitude $\varphi = 31^\circ$ sera obtenu par une **projection stéréographique** de la sphère locale à partir de P' (pôle céleste austral) sur le plan de l'équateur (E'E). La projection stéréographique du point A' s'obtient en joignant P'A' et en prenant l'intersection de cette direction avec E'E ; soit **a'** ce point, en adoptant la règle selon laquelle les projections stéréographiques sont désignées par les lettres minuscules, homologues des lettres majuscules désignant les points sur la sphère.

Cette propriété s'applique aussi bien au cercle horizon, à l'équateur, à l'écliptique, aux cercles d'égal azimut qui sont des grands cercles, qu'aux tropiques, aux almucantarats qui sont des petits cercles.

Enfin la projection stéréographique est **conforme** ; cela signifie que les angles formés par les courbes tracées sur la sphère sont conservés en projection.

Ainsi donc toutes les courbes qui apparaissent sur le tympan de la fig 4b sont des cercles. Des lignes de rappel en tiretés permettent de voir la correspondance entre les diamètres aa' , ee' , bb' , 18-18', 45-45' de la coupe de la sphère locale de la figure 4a et les points homologues du tympan de la fig 4b ; nous avons procédé de même pour bien marquer la correspondance entre les points h , p , z des figures 4a et 4b.

La figure 4b est la reproduction du tympan de Marrakech de l'astrolabe d'Abû-Bakr du Musée Paul Dupuy, où nous avons remplacé les caractères koufiques par des désignations françaises et des chiffres "arabes". Nous avons aussi simplifié le dessin du limbe, gradué seulement de 5 en 5° ; nous avons ajouté autour de celui-ci un limbe gradué en heures, les graduations de 5 en 5° du limbe intérieur correspondant à des subdivisions de 20 en 20 minutes du limbe horaire.

2.12 Courbes situées au dessous du cercle horizon

2.121 La ligne crépusculaire

La ligne crépusculaire est l'almucantarats de hauteur - 18°, les Arabes admettant que la fin du crépuscule a lieu lorsque le soleil a la hauteur -18° au dessous de l'horizon.

2.1.2.2 Les lignes des heures inégales

Les lignes numérotées en chiffres romains I, II, III, IV, V etc... sont les lignes des **heures inégales**, que l'on peut opposer aux heures "égales", réglées sur la trajectoire complète du soleil en 24 heures. Nous avons mis égales entre guillemets car nous verrons ci-après, à propos de l'équation du temps, que ces heures ne sont pas rigoureusement égales. Il est **midi solaire** lorsque le **soleil vrai** culmine (passage au méridien supérieur), il est minuit solaire lorsque le soleil vrai passe au méridien inférieur.

Entre ces deux passages, l'heure solaire, celle que l'on obtient à l'astrolabe ou avec les cadrans solaires est mesurée par **l'angle horaire du soleil vrai** H_v (voir fig 14a).

Le temps solaire ainsi défini n'est pas identique à celui de nos montres pour deux raisons :

a) le temps de nos montres est un temps moyen H_m , basé sur un soleil fictif, parcourant l'équateur céleste d'un mouvement uniforme au cours de l'année, alors que le soleil vrai se déplace sur l'écliptique selon un mouvement non uniforme (loi des aires de *Képler*). Il y a entre H_m et H_v une différence : $E(t) = H_m - H_v$, appelée équation du temps, qui selon les périodes de l'année peut varier de +15 à -16 minutes. Le temps moyen de Greenwich sert à définir le temps universel : TU. Il est midi TU lorsqu'un soleil fictif culmine au méridien de Greenwich ou **méridien international**. **L'heure légale** française, la même sur tout le territoire national, se déduit du temps universel en ajoutant une heure en automne, hiver et deux heures au printemps et en été.

b) Il faut tenir compte en outre de la différence de longitude du lieu considéré O par rapport au méridien international.

Supposons qu'il soit midi solaire à Strasbourg : il n'est que 11h30m heure solaire à Greenwich ; si on prend le cas où l'équation du temps est nulle ou négligeable il est à cet instant 11h30m TU. Il y a donc à Strasbourg entre les 12 h solaires et l'heure légale 13h30m un décalage de 1h30m et non de deux heures comme on le croit généralement ; ce décalage peut selon les périodes de l'été osciller entre 1h24m et 1h36m.

Aux heures égales solaires on oppose les **heures inégales**, utilisées dans l'Antiquité, au Moyen-âge et à la Renaissance. On distingue les heures inégales de jour et de nuit. L'heure inégale de nuit s'obtient en divisant en douze parties égales l'intervalle de temps séparant le coucher du soleil de son lever : il est 0h de nuit lorsque le soleil se couche, 6h inégale de nuit lorsqu'il est minuit (passage au méridien inférieur), 12h inégale de nuit ou 0h inégale de jour lorsque le soleil se lève. Il est 6h inégale de jour à midi (passage au méridien supérieur) et 12 h inégale de jour au coucher du soleil.

Pour tracer les lignes des heures inégales l'astrolabiste divise en 6 parties égales (fig. 4b) :

- les arcs $u_D b'$ et $b'u_G$ situés sous l'horizon,
- les arcs $h_D e'$ et $e'h_G$ " " " "
- les arcs $m_D a'$ et $a'm_G$ " " " "

et d'autres arcs analogues tracés entre les deux tropiques. En joignant les points homologues I, II, III etc... on obtient les lignes des heures inégales de nuit de Ih à XIh.

On sait qu'au solstice d'été le soleil parcourt dans le mouvement diurne le tropique du Cancer, donc la nuit l'arc $u_D h_G$ situé sous l'horizon. Aux équinoxes il parcourt l'équateur, donc la nuit l'arc $h_D e'h_G$, moitié de sa trajectoire complète : il y a alors égalité de la durée du jour et de la nuit. Au solstice d'hiver le soleil parcourt le tropique du Capricorne et la nuit l'arc $m_D a'm_G$. Or il est clair sur la figure que l'on a :

$$\widehat{u_D h_G} < \widehat{h_D e'h_G} < \widehat{m_D a'm_G}$$

La nuit la plus courte est celle du solstice d'été, la plus longue celle du solstice d'hiver. Il en résulte que la douzième partie de la nuit d'été est plus courte que la douzième partie de la durée de la nuit d'hiver, d'où le nom donné à ces heures : d'heures inégales, sous-entendu au cours de l'année.

Remarques : on constate que les points $m_G p u_D$ d'une part, les points $m_D p u_G$ d'autre part sont alignés et que la direction $m_G u_D$ est symétrique de la direction $m_D u_G$ par rapport

à la $h_G h_D$; d'où l'égalité angulaire $\widehat{m_G p m_D} = \widehat{u_G p u_D}$.

Le premier angle correspond à la durée du jour solsticial d'hiver (arc intercepté au dessus de l'horizon) ; le deuxième angle correspond à la durée de la nuit solsticial d'été (arc intercepté au dessous de l'horizon). Il en résulte que la durée du jour solsticial d'hiver est égale à la durée de la nuit solsticial d'été ; de même la durée de la nuit solsticial d'hiver est égale à la durée du jour solsticial d'été.

Procédons de même pour le point A, autre extrémité du diamètre du tropique du Capricorne situé dans le plan méridien (plan de figure), soit *a* sa projection stéréographique. Le cercle de diamètre *aa'* limite le champ de l'astrolabe. Il est clair que l'équateur *EE'* est sa propre projection, les points *e* et *e'* étant confondus avec *E* et *E'*. Soit *bb'* la projection stéréographique du diamètre *BB'* du tropique du Cancer. Soient *n, h, 18, p, 45, z, 45', 18', h'* les projections stéréographiques des points *N, H, 18° N, P, 45° N, Z, 45° S, 18° S, H'*, les points *n* d'une part, *18'* et *h'* d'autre part étant situés en dehors du champ de l'astrolabe.

En faisant tourner de 90° le plan debout (*EE'*) on met en évidence l'ensemble des cercles qui constituent le tympan de latitude 31°, représenté en fig 4b, que nous avons orientée de manière que *aa'* soit parallèle à la direction homologue de la fig 4a, sur laquelle nous avons représenté seulement les cercles :

de diamètre (*aa'*) image du cercle (*AA'*)
 " (*bb'*) " (*BB'*)
 " (*ee'*) " (*EE'*)

Il convient de rappeler les propriétés essentielles de la projection stéréographique :

Les images d'arcs de grand cercle passant par le pôle boréal, donc aussi par le pôle austral sont des droites : c'est le cas en particulier des images des cercles horaires passant par *PP'* ; ces images ne sont pas représentées sur le tympan, mais dans les astrolabes munis d'un **ostensor** tournant autour de *p*, le biseau de l'ostensor matérialise une droite horaire mobile.

L'image d'un cercle quelconque tracé sur la sphère, ne passant pas par le pôle, est un cercle.

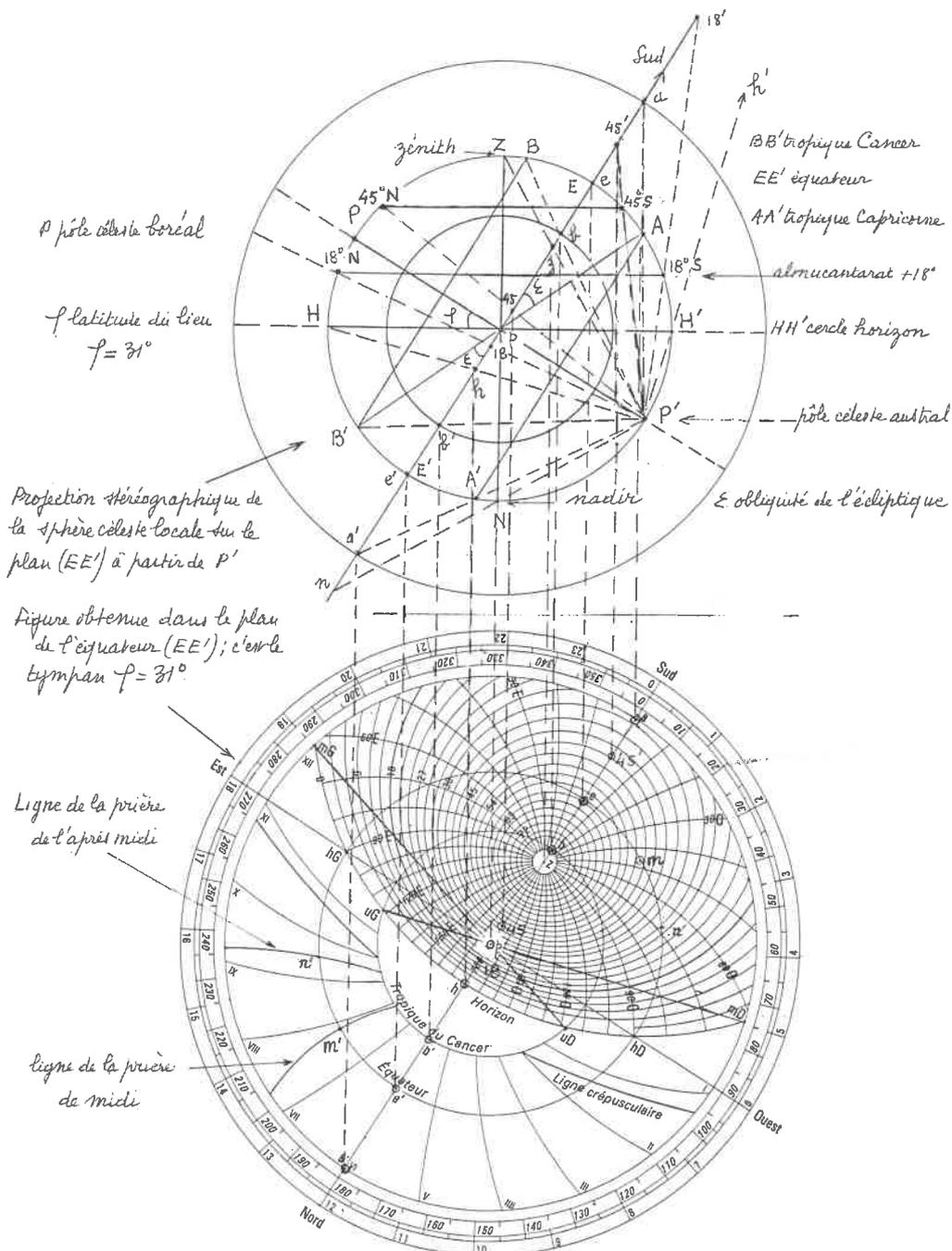


FIGURE 4a

FIGURE 4b

On peut aussi obtenir des résultats numériques. Le point m_3 du tropique du Capricorne correspond sur le imbe à la graduation 75° ou $75^\circ + 360^\circ = 435^\circ$; le point m_6 du même tropique correspond à la graduation 285° . La longueur du jour solsticial d'hiver (arc au dessus de l'horizon) est donc à Marrakech : $435^\circ - 285^\circ = 150^\circ$, soit en heures : $150/15 = 10$ heures ; il en résulte que la nuit solsticial d'été a la même longueur. On en déduit que la durée du jour solsticial d'été, identique à la durée de la nuit solsticial d'hiver, a pour valeur à Marrakech : $24h - 10h = 14h$

2.123 Les lignes des heures des prières de midi et de l'après-midi

Les heures des prières musulmanes sont fixées d'après des règles du Coran, mais celles-ci n'ont pas suffisamment de rigueur pour être transposées sur l'astrolabe ; aussi y a-t-il plusieurs sortes d'interprétation des lois édictées par Mahomet ; en général elles font référence à la longueur d'ombre du gnomon. Dans les descriptions d'astrolabes musulmans on se contente d'indiquer que la ligne de la prière de midi se trouve située entre les lignes d'heures inégales VII et VIII, c'est-à-dire entre 1h et 2h après la culmination du soleil, et que la ligne de la prière de l'après-midi se trouve située entre les lignes d'heures inégales IX et X, c'est-à-dire entre 3h et 4h après la culmination du soleil. J'ai recherché quelles étaient les deux lois adoptées par *Abù-Bakr* en utilisant une méthode à la fois graphique et calculée.

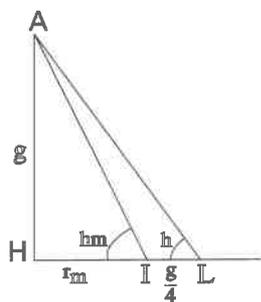


FIGURE 5

L'appel à la prière de midi a lieu lorsque l'ombre : $r = HL$ du gnomon est égale à la somme de l'ombre méridienne r_m (à midi solaire) et du quart de la hauteur du gnomon de hauteur g . On a donc (fig 5) :

$$r = HL = r_m + g/4.$$

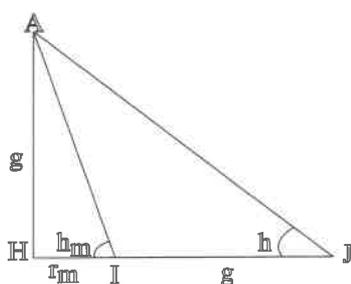


FIGURE 6

L'appel à la prière de l'après-midi a lieu lorsque l'ombre $r = HJ$ du gnomon est égale à la somme de l'ombre méridienne r_m et de la hauteur du gnomon.

On a donc (fig 6) :

$$r = HJ = r_m + g$$

Si l'on trouve assez aisément des textes confirmant la loi de la prière de l'après-midi, il m'a été plus difficile de trouver un texte indiquant la loi adoptée par *Abù-Bakr* pour la prière de midi. C'est dans le "Traité exhaustif des ombres" d'*Al Biruni* (973-1048), traduit assez récemment en anglais par l'Américain *Kennedy* que j'ai découvert cette loi, exprimée de la façon suivante : la longueur de l'ombre méridienne doit s'allonger de trois doigts, c'est-à-dire de $3/12$ de la hauteur du gnomon, ce qui correspond bien au quart de sa hauteur.

2.2 Les tympans astrologiques

Outre les douze tympans astronomiques dont les latitudes s'échelonnent de celle de La Mecque à celle de Saragosse, la mère de l'astrolabe comporte deux tympans astrologiques : l'un pour la latitude de Fez, l'autre pour la latitude de Marrakech. La figure 7 représente une reproduction du tympan astrologique de Fez, qui ne comporte aucun almucantar, ni cercle d'égal azimut, mais à la place sont représentées les limites des **maisons astrologiques** ou **maisons du ciel**, fuseaux de 30° par lesquels les astrologues divisent le ciel pour analyser son état au moment de la naissance d'un enfant et pour dresser son **horoscope**.

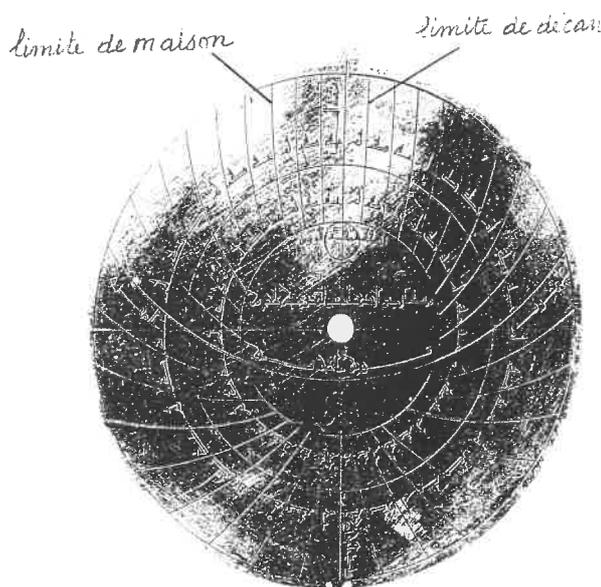


FIGURE 7 Tympan astrologique de Fez (latitude $33^\circ 40'$)

Différents modes de division du ciel en douze parties égales ou domifications ont été utilisées dans le passé. D'après mon étude *Abù-Bakr* a adopté la **domification** selon la méthode d'*Al Biruni*, déjà cité au paragraphe précédent, et reprise au moyen-âge par *Campanus de Novarre*, astronome italien mort en 1296. Ces deux auteurs divisent le premier vertical, c'est-à-dire le cercle vertical d'azimut 90° Est et Ouest en douze arcs égaux ; chaque maison est divisée en 3 *decans*, fuseaux de 10° d'amplitude.

3. LA SPHERE DES FIXES ET L'ARAIGNÉE

3.1 La sphère des fixes (fig 8)

On appelle **sphère des fixes** la sphère céleste étoilée sur laquelle les étoiles sont considérées comme fixes, par opposition au soleil et aux planètes qui se déplacent parmi les étoiles au cours de l'année. La sphère des fixes a le même centre et le même rayon que la sphère céleste locale ; cette dernière reste immobile alors que la sphère des fixes effectue une rotation complète de 360° en 24 heures de temps sidéral ou 23h56m de temps moyen. Sur la sphère des fixes on fait figurer l'**écliptique**, qui est la trajectoire apparente du soleil au cours de l'année. Le plan de l'écliptique fait avec le plan de l'équateur un angle ϵ appelé **obliquité de l'écliptique**, égal actuellement à $23^\circ 26'$. De part et d'autre de l'écliptique s'étend le **zodiaque**, partagé en 12 parties égales, appelées **signes du zodiaque**. L'intersection de l'écliptique et de l'équateur est la ligne des points équinoxiaux $\gamma\gamma'$ (fig 8). Le point γ correspond à l'**équi-**

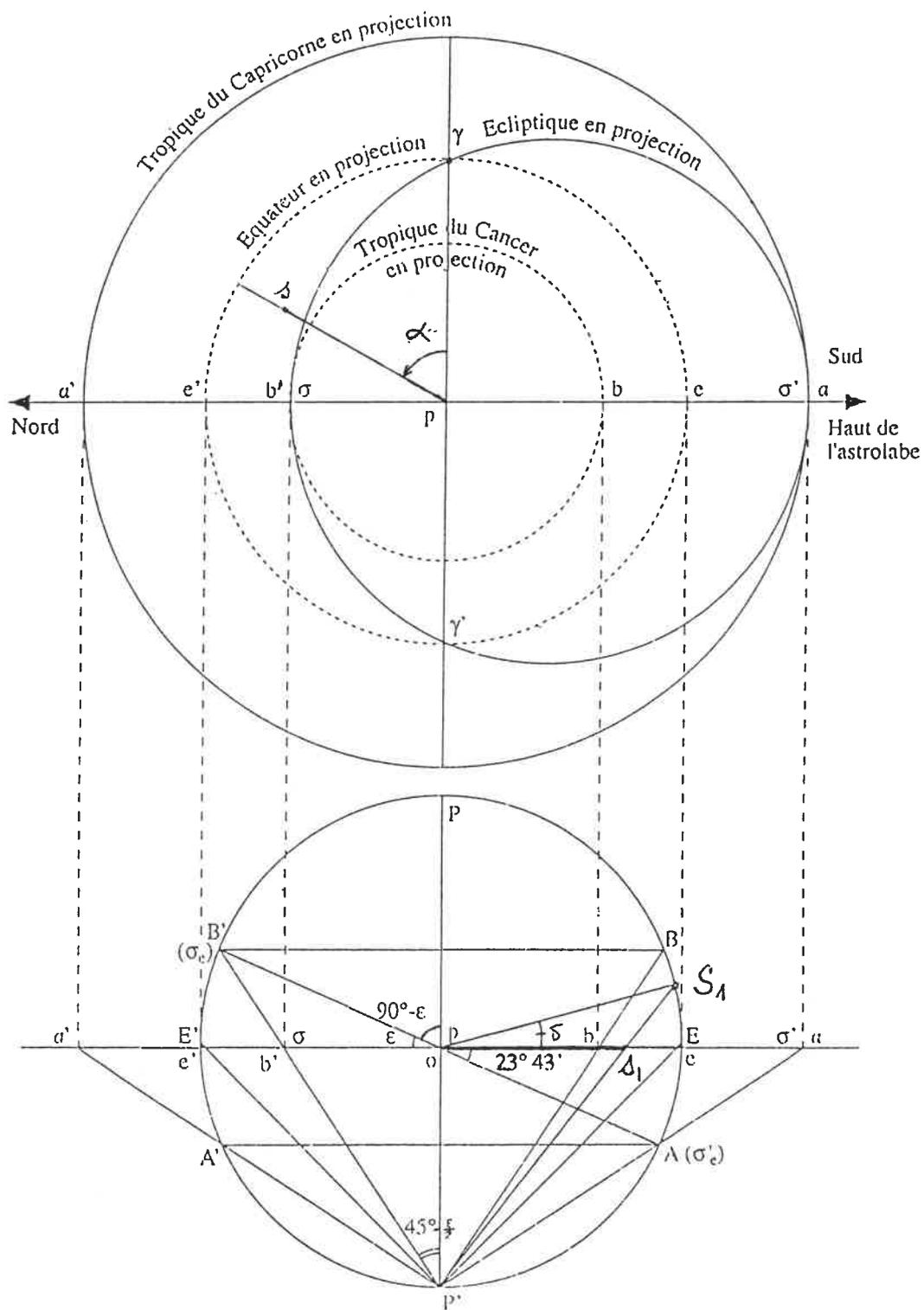


FIGURE 8

Construction de l'araignée par projection stéréographique de la sphère des fixes sur le plan de l'équateur céleste.
Report de l'étoile S par son ascension droite α et sa déclinaison δ : $ps = \sigma s_1$

noxe de printemps et se trouve être au début du signe du Bélier, le point γ' correspond à l'équinoxe d'automne et se trouve être au début du signe de la Balance. Lorsque le soleil se trouve en γ ou γ' , donc sur l'équateur il y a égalité du jour et de la nuit, d'où l'origine du mot **équinoxe**.

Sur l'écliptique considérons le point σ de déclinaison égale à $+\varepsilon$, appelé point **solsticial d'été**, situé au début du signe du Cancer ; le **point solsticial d'hiver** σ' lui est diamétralement opposé sur l'écliptique et a pour déclinaison $-\varepsilon$. Lorsque le soleil se trouve en σ la durée du jour est la plus longue de l'année, lorsqu'il se trouve en σ' la durée du jour est la plus courte de l'année.

Au cours de celle-ci, on repère la position du soleil par la **place** qu'il occupe dans un signe du zodiaque, par exemple $\square 16^\circ$ (Gémeaux 16°) ; le point correspondant sur l'écliptique de la sphère des fixes est le **point solaire**. Sur la sphère des fixes les étoiles peuvent être repérées par plusieurs systèmes de coordonnées : coordonnées écliptiques, coordonnées équatoriales : **ascension droite - déclinaison**. La déclinaison a déjà été définie en 2. L'ascension droite est l'angle que fait le cercle horaire de l'étoile (cercle passant par l'étoile et les deux pôles, avec le cercle horaire du point γ défini ci-dessus). Les ascensions droites sont comptées en degrés ou en heures dans le sens direct.

3.2 Araignée

De même que le tympan est la projection stéréographique de la sphère locale, **l'araignée** est la projection stéréographique de la sphère des fixes. La figure 8 indique comment est obtenu la projection stéréographique de l'écliptique AB', tangent en a au tropique du Capricorne et en b' au tropique du Cancer ; l'araignée de l'astrolabe d'Abù-Bakr comprend en outre la projection stéréographique de 28 étoiles remarquables du ciel. Soit à construire la projection stéréographique s de l'étoile S, d'ascension droite $\alpha = 59^\circ 1/4^{(1)}$ et de déclinaison $\delta = 17^\circ^{(1)}$. On construit d'abord la direction pi faisant avec py l'angle α . Faisons tourner le cercle horaire de l'étoile S de façon à l'amener dans le plan du méridien

(plan de figure). L'étoile S vient en S_1 , tel que $\widehat{EpS_1} = \delta = 17^\circ$ (fig 8 partie inférieure). Construisons la projection stéréographique s_1 de S_1 ; la longueur os_1 représente la distance polaire en projection de l'étoile ; il suffit de reporter sur la direction pi la longueur $ps = os_1$, pour avoir la projection stéréographique **s** cherchée.

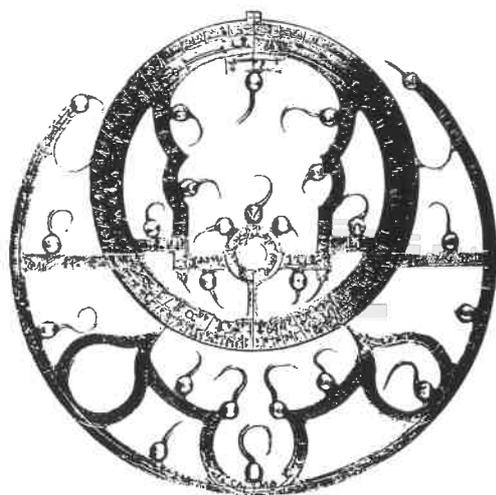


FIGURE 9

(1) Ces coordonnées sont celles d'Aldébaran lors de la construction de l'astrolabe en 1216-17 ; voir n° 7.2

En fait les astrolabistes médiévaux utilisaient un autre système de coordonnées : celui de **médiations-déclinaisons**. La médiation d'une étoile est le degré du signe du zodiaque où la direction ps rencontre l'écliptique en projection.

On répète l'opération décrite ci-dessus pour l'ensemble des étoiles de l'araignée. La figure 9 est une photographie de l'araignée de l'astrolabe d'Abù-Bakr, qui a une forme ajourée avec des tiges rectilignes ou recourbées assurant la liaison entre la **couronne zodiacale** et la **couronne périphérique**, sur laquelle est tracé partiellement le tropique du Capricorne ; la couronne zodiacale, dont le périmètre est l'image de l'écliptique, porte les 12 signes du zodiaque ; leurs symboles sont accompagnés du nom du signe en arabe et en caractères koufiques ; ils comportent chacun une graduation de 3 en 3° ; l'amplitude des signes du zodiaque est variable à cause de la déformation introduite par la projection stéréographique : l'amplitude est minimale de part et d'autre du point solsticial d'été σ , l'amplitude est maximale de part et d'autre du point solsticial d'hiver σ' .

Sur les tiges ont été placés des rivets qui assurent chacun la fixation d'un crochet dont la pointe terminale matérialise la position d'une étoile ; à proximité du rivet le nom de l'étoile est en caractères koufiques.



FIGURE 10

La figure 10 représente un dessin de l'araignée, sur lequel nous avons porté à l'emplacement des rivets un n° de 1 à 28. Nous avons dressé une liste de correspondance entre le n° et le nom de l'étoile en arabe d'une part, les noms officiel et usuel de l'étoile d'autre part. Nous ne donnerons pas ici cette liste, mais nous signalons qu'au n° 2 correspond Aldébaran prise ci-dessus comme exemple, qu'au n° 5 correspond Sirius, l'étoile la plus brillante du ciel, qu'au n° 22 correspond Rasalhague que nous utiliserons au n° 6.32.

Au dessus de la graduation 30 du signe du Sagittaire l'araignée comporte un appendice rectangulaire dans l'axe duquel est tracé un trait I que nous désignerons par **l'index de l'araignée**, dont le rôle sera précisé en 6.3.1.

4. LE DOS DE L'ASTROLABE

4.1 Mention de l'auteur et de la date

Autour du centre du dos une inscription en demi-cercle, en caractère koufiques, peut être traduite de la manière suivante : "Fait par Abû-Bakr ben Yusuf dans la ville de Maroc, que Dieu la rende florissante. Année 613". Il s'agit de l'année 613 de l'hégire, soit 1216-17 en calendrier julien, en usage à cette époque, où Maroc désignait à la fois le pays et sa capitale Marrakech.

4.2 Le carré des ombres

Sous l'inscription précédente figure un **carré des ombres**, dont nous n'avons représenté fig 11 que la moitié de droite, celle de gauche étant sa symétrique par rapport à OC ; il y a donc en réalité deux graduations verticales encadrant une double graduation horizontale, dont la moitié a la même longueur que les deux verticales ; la chiffraison comporte les chiffres 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, mais il y a douze traits de graduation aussi bien sur les échelles verticales intitulées "ombre verse" que pour la double graduation horizontale intitulée "ombre gisante". Le carré des ombres a deux fonctions :

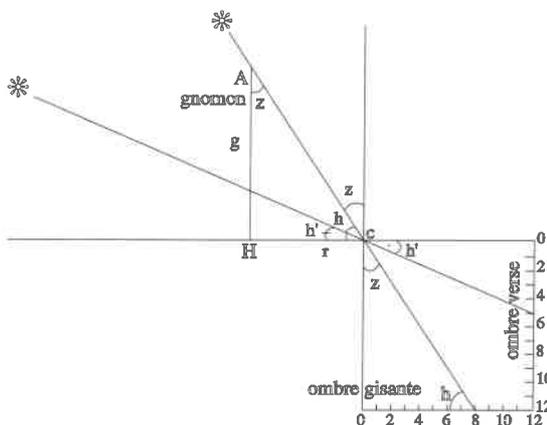


FIGURE 11

a) une fonction liée au soleil permettant de déterminer le **rapport du gnomon**. Toute ville importante dans l'Antiquité disposait d'un gnomon, constitué soit d'une tige verticale, soit d'un obélisque de hauteur g projetant une ombre ou retrait, de longueur r , sur une aire plane et horizontale. Le rapport du gnomon $\frac{g}{r}$ permet de connaître la hauteur du soleil par la relation : $\tan h = \frac{g}{r}$

voir fig 11 en haut et à gauche. Or si on pointe le soleil avec l'alidade, le biseau de celle-ci rencontre l'une des échelles du **carré des ombres** en une graduation, qui permet d'obtenir le résultat précédent, d'où le nom de carré des ombres donné à ce dispositif. C'est ainsi que la direction AC des rayons du soleil, confondue avec celle du biseau de l'alidade, rencontre l'échelle "ombre gisante" à la graduation 8. Le rapport du gnomon est donc : $\tan h = 12/8 = 1,5$, d'où $h = 56^{\circ}19'$.

L'échelle ombre verse permet la mesure de $\tan h'$ lorsque $h' < 45^{\circ}$; dans le cas de la fig 11 :

$$\tan h' = 6/12 = 1/2, \text{ d'où } h' = 26^{\circ}34'$$

b) Le carré des ombres avait aussi une fonction trigonométrique.

Si le biseau comporte la même graduation que les échelles "ombre gisante" et "ombre verse", mais allant au moins jusque $12 \times \sqrt{2}$ unités, on peut, en marquant un angle tel que z sur le limbe du dos de l'astrolabe et en plaçant le biseau sur cette graduation z , obtenir les valeurs des lignes trigonométriques : $\tan z$, $\sin z$, $\cos z$ et résoudre un certain nombre de problèmes, tels que ceux qui sont liés à l'arpentage.

4.3 Le calendrier perpétuel d'Abû-Bakr

Autour de la partie centrale qui vient d'être décrite on discerne 10 couronnes circulaires que nous numérotions de l'intérieur vers la périphérie. Les couronnes 1.2.3.4 constituent le **calendrier perpétuel d'Abû-Bakr** ; pour passer de celui-ci au calendrier julien il faut retrancher 14 au millésime du calendrier perpétuel, dont l'origine (an 1) remonte à l'an 15 avant la naissance de J.C..

4.4 Le calendrier zodiacal

Les couronnes 5.6.7.8.9 forment le **calendrier zodiacal**, qui indique pour chaque jour de l'année la place qu'occupe le soleil dans l'un des signes du zodiaque. La position correspondante sur l'écliptique de la sphère des fixes s'appelle le **point solaire** ; celle de l'araignée s'appelle aussi le point solaire ; l'examen de ce calendrier nous indique par exemple que :

- le point solsticial d'été, début du signe du Cancer (point σ), se trouve en face de la date du 15 juin, le degré 16 des Gémeaux se trouve en face de la date du 1er juin,
- le point équinoxial de printemps début du signe du Bélier (point γ) se trouve en face de la date 14 mars. Or dans notre calendrier actuel le point γ correspond au 21 mars ; cela mérite une explication.

Dans le **calendrier julien**, établi sous *Jules César*, et encore en vigueur à l'époque d'Abû-Bakr la durée moyenne de l'année est de 365,25 jours (3 années normales suivies d'une année bissextile), alors qu'elle est en réalité de 365,2422 jours, d'où un retard de 0,0078 jour par an. Le concile de Nicée avait en 325 fixé l'équinoxe de printemps au 21 mars. En 1216 le retard était de $(1216-325) \times 0,0078 \approx 7$ jours, de sorte que le point vernal correspond à : $21 - 7 = 14$ mars, date que l'on trouve bien sur le calendrier zodiacal.

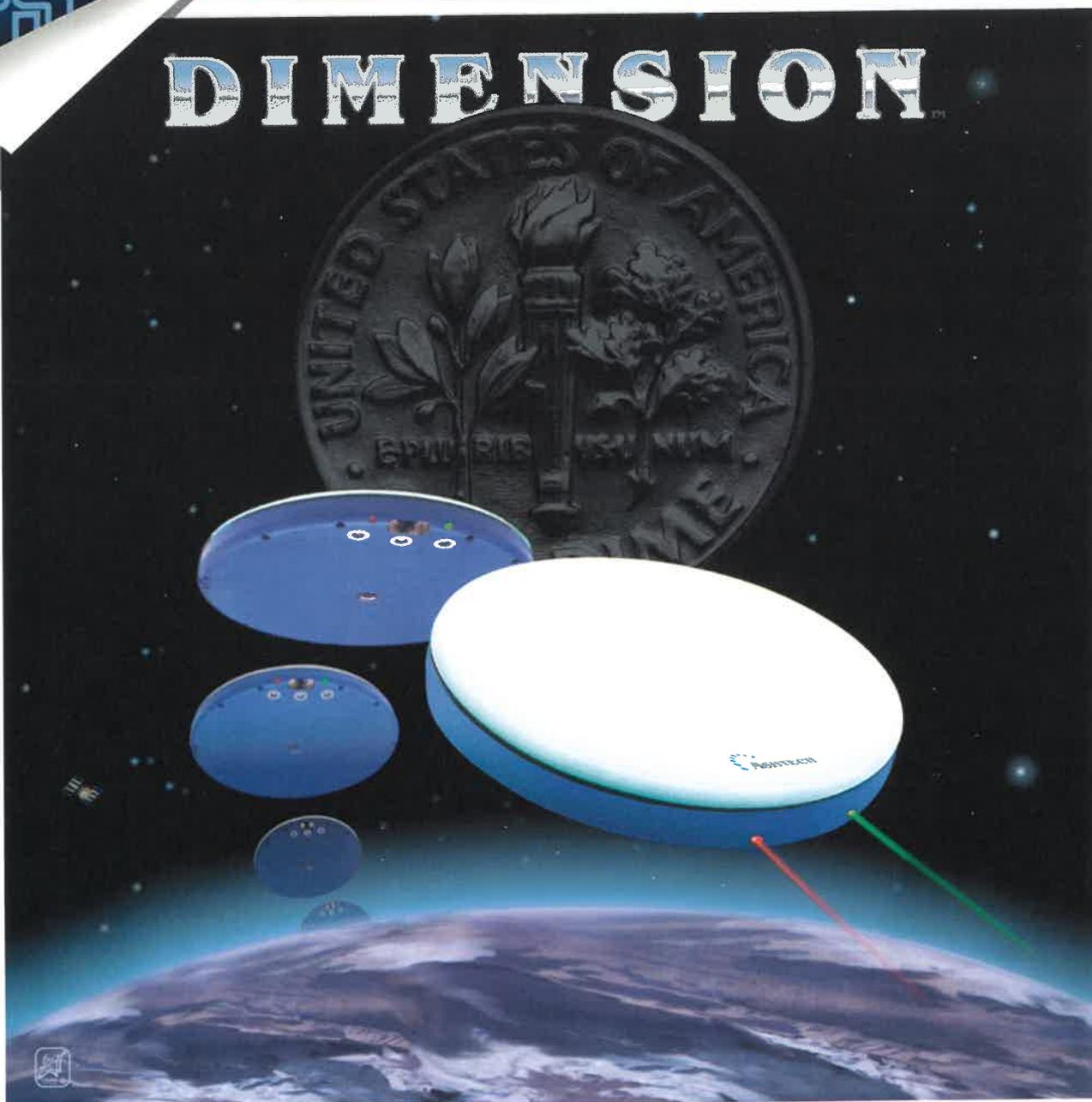
En 1582 le retard pris par le calendrier julien était de $(1582-325) \times 0,0078 \approx 10$ jours. Pour rattraper ce retard le Pape *Grégoire XIII* décida que le lendemain du jeudi 4 octobre 1582 s'appellerait le 15 octobre 1582 et pour que le nouveau calendrier, appelé **calendrier grégorien**, ne prenne plus de retard, il décida que les années juliennes seraient diminuées à raison de 3 jours tous les 400 ans, soit de $3/400 = 0,0075$ jour ; pour ce faire il supprima les 29 février des années 1700, 1800, 1900..., 2100 etc..., années dont le nombre de centaines n'est pas divisible par 4 ; ne sont maintenues bissextiles que les années dont le nombre de centaines est divisible par 4, à savoir 1600, 2000 etc...

En ce qui concerne les astrolabes l'examen de leur calendrier zodiacal permet donc, grâce à la date correspondant au point γ , de savoir si le calendrier utilisé est julien ou grégorien. Dans le premier cas l'astrolabe a été construit avant 1582, dans le deuxième cas après 1582.

GPS

UNE NOUVELLE GENERATION DE RECEPTEURS

DIMENSION



DIMENSION... petit par la taille, petit par le prix, grand par les performances !

- Une antenne, un récepteur et de la mémoire interne intégrés dans un disque de 22 cm de diamètre
- 12 canaux parallèles pour capter tous les satellites disponibles
- Jusqu'à 8 Mega-Octets de mémoire
- Précision millimétrique en modes statique, cinématique et pseudo-cinématique
- DIMENSION S.I.G. : une version entrée de gamme pour une précision décimétrique

Pour plus d'informations : Tél. : (1) 40.70.67.60



- Utilisation totalement automatisée sur le terrain : 1 bouton marche/arrêt, 1 diode témoin de fonctionnement correct
 - 2 ports série RS 232
 - Possibilité de connexion à des micro-ordinateurs de poche
 - Utilisation sans fil et avec une seule main, grâce à la canne ASHTECH à batterie incorporée et à témoin de niveau de charge

Fax : (1) 40.70.67.75

 **ASHTECH**

4.5 Le limbe et les chiffraisons encadrantes

Un limbe gradué de 0 à 360° occupe la couronne n° 9 : il est encadré de deux chiffraisons occupant les couronnes n°8 et n° 10. Dans la couronne n° 8 il s'agit de 12 chiffraisons identiques de 0 à 30° correspondant à chacun des douze signes du zodiaque. Dans la couronne n° 10 on trouve 4 séries de chiffraisons de 0 à 90° permettant de lire sur le biseau de l'alidade la hauteur de l'astre visé.

5. LE FOND DE LA MERE

Lorsqu'on enlève l'araignée et tous les tympans, on découvre le fond de la mètre, qui comporte toute une série de **tables astrologiques**, disposées en couronnes circulaires. Ce sont des tables établies selon *Ptolémée*, selon *Alcabitius* ou dans un système dit égyptien.

Ptolémée a vécu à Alexandrie au 2e siècle après J.C ; Alcabitius est un astrologue arabe ayant vécu à Alep et à Mossoul avant l'an 1000.

Ces tables astrologiques constituent un véritable vademecum de l'astrologue.

6. LES USAGES DE L'ASTROLABE PLANISPHERIQUE

6.1 Principe d'utilisation de l'astrolabe sphérique et de l'astrolabe planisphérique.

Rappelons que le tympan est la projection stéréographique de la sphère céleste locale, qu'on laisse immobile et que l'araignée est la projection stéréographique de la sphère des fixes effectuant un tour complet en 24 heures de temps sidéral ou 23h56m de temps moyen, autour de l'axe PP'. Mettons en contact les deux sphères, celle des fixes étant transparente, de manière que l'on puisse voir à travers elle le double réseau des almucantarats et des cercles d'égal azimut de la sphère locale ; nous venons de réaliser un astrolabe sphérique. La date étant connue nous pouvons grâce au calendrier zodiacal identifier le point solaire sur l'écliptique de la sphère tournante. A chaque instant de la journée, l'heure étant le paramètre connu, on peut connaître la hauteur du point solaire par interpolation parmi les almucantarats ; on peut connaître aussi son azimut par interpolation parmi les cercles d'égal azimut. On peut procéder de même pour les étoiles portées sur la sphère des fixes.

Mais à la place de l'heure on peut prendre comme paramètre connu la hauteur du soleil ou celle d'une étoile mesurée avec l'alidade, et l'on pourra en déduire l'heure comme nous le verrons ci-après (n° 6.31).

Les opérations que nous venons de décrire à l'astrolabe sphérique peuvent être effectuées avec l'astrolabe planisphérique, dont la réalisation est beaucoup plus facile et l'encombrement plus faible. Il suffit de faire tourner l'araignée par rapport au tympan de la latitude du lieu d'observation.

Dans les deux cas : astrolabe sphérique et astrolabe planisphérique il est possible de résoudre les douze problèmes liés au triangle de position ; leur dénombrement fait l'objet du paragraphe suivant, qui n'a pas été traité à la conférence en raison d'une part de son caractère technique et de la présence de membres de l'Association des Amis du Musée Paul Dupuy et d'autre part du temps imparti. Il nous paraît quasi indispensable d'exposer cette question dans un article destiné à des topographes.

6.2 La résolution du triangle de position à l'astrolabe

Le triangle de position est constitué sur la sphère céleste locale par :

- le pôle boréal P,
- le zénith du lieu z,
- l'astre visé S (étoile ou soleil).

Les angles du triangle de position sont :

- ▲ $\widehat{ZPS} = \widehat{H}$, angle horaire de l'astre,
- ▲ $\widehat{PZS} = \widehat{A}' = 180^\circ - Az_0$, Az_0 étant l'azimut Ouest de l'astre S, représenté sur la figure 12,
- ▲ $\widehat{ZPS} = \widehat{S}$, angle à l'astre.

Les côtés sont :

- ◆ $\widehat{PZ} = \theta$, colatitude du lieu ; si φ est la latitude, on a : $\theta + \varphi = 90^\circ$
- ◆ $\widehat{ZS} = z$, distance zénithale de l'astre ; si h est sa hauteur, on a : $z + h = 90^\circ$
- ◆ $\widehat{PS} = p$, distance polaire de l'astre ; si δ est sa déclinaison, on a : $p + \delta = 90^\circ$

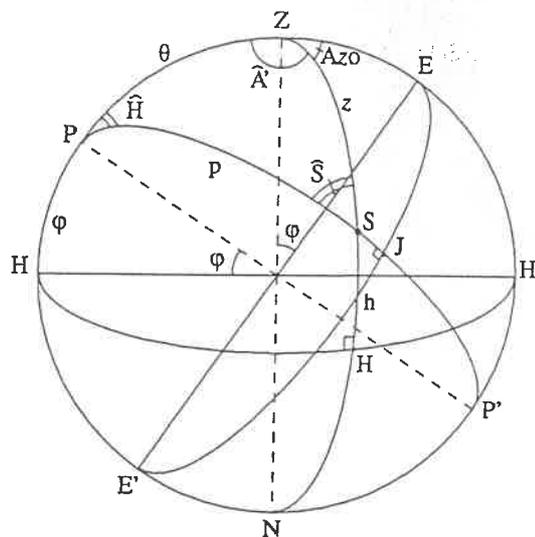


FIGURE 12

J'ai inventorié les différents problèmes pouvant être résolus à l'astrolabe de la manière suivante :

A l'astrolabe l'angle à l'astre S ne présente aucun intérêt, d'autre part la latitude φ , donc aussi la colatitude θ est toujours un élément connu ; on peut l'associer avec les quatre éléments restants de 4 manières différentes, qui sont :

- | | | | | |
|----|----------|----------------|----------------|-------|
| A) | θ | \widehat{H} | \widehat{A}' | z , |
| B) | θ | \widehat{H} | \widehat{A}' | p , |
| C) | θ | \widehat{H} | z | p , |
| D) | θ | \widehat{A}' | z | p . |

Pour chaque manière A ou B ou C ou D, on peut, θ étant connu, résoudre trois problèmes différents, en se donnant deux des paramètres autres que θ et en calculant le quatrième, d'où le tableau ci-après, dans lequel nous

avons utilisé les paramètres, tels qu'ils se présentent dans le triangle de position, mais en faisant figurer à côté, entre parenthèses, le paramètre plus usuel, qui nous intéresse :

$$\begin{aligned} \varphi &= 90^\circ - \theta, \\ Az &= 180^\circ - \widehat{A}', \\ h &= 90^\circ - z, \\ \delta &= 90^\circ - p. \end{aligned}$$

	Paramètres astronomiques supposés connus			Paramètre à déterminer
A	1	θ (φ)	\widehat{A}' (Az)	z (h)
	2	θ (φ)	\widehat{H}	z (h)
	3	θ (φ)	\widehat{H}	\widehat{A}' (Az)
B	4	θ (φ)	\widehat{A}' (Az)	p (δ)
	5	θ (φ)	\widehat{H}	p (δ)
	6	θ (φ)	\widehat{H}	\widehat{A}' (Az)
C	7	θ (φ)	z (h)	p (δ)
	8	θ (φ)	\widehat{H}	z (h)
	9	θ (φ)	\widehat{H}	p (δ)
D	10	θ (φ)	z (h)	\widehat{A}' (Az)
	11	θ (φ)	\widehat{A}' (Az)	z (h)
	12	θ (φ)	\widehat{A}' (Az)	p (δ)

6.3 Quelques problèmes pouvant être résolus à l'astrolabe

6.31 Détermination de l'heure de jour au soleil -

Détermination de l'azimut du soleil

En un lieu de latitude φ connue, à une date connue, on mesure l'après-midi la hauteur h du soleil.

- déterminer l'heure de l'observation H_v
- déterminer l'azimut du soleil Az_o

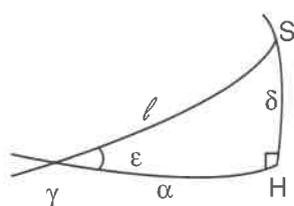


FIGURE 13

Dans ce double problème on connaît la latitude φ , la hauteur h du soleil et la déclinaison δ du soleil résultant de la date d'observation ; celle-ci permet en effet de situer le point solaire sur l'écliptique et de connaître sa déclinaison fonction de sa longitude écliptique l . En effet soit γS une position d'arc de l'écliptique (fig 13) et γH une position d'arc de l'équateur. Dans le triangle sphérique rectangle γHS on a : $\sin \delta = \sin l \cdot \sin \epsilon$.

Ainsi la détermination a) correspond au problème n° 7, la détermination b) correspond au problème n° 10 du tableau de recensement de 6.2.

Résolution à l'astrolabe sphérique (fig 14a) :

Dans le mouvement diurne le point solaire décrit le parallèle céleste de déclinaison δ : celui-ci rencontre l'almucantar (h) au point S, position du point solaire au moment de l'observation. Le cercle horaire de S fait avec le méridien l'angle H_v cherché, qui est l'heure de l'observation. Le cercle d'égal azimut Az_o passant par S donne l'azimut cherché.

Résolution à l'astrolabe planisphérique (fig 14b) :

a) Soit s le point solaire ; on fait tourner l'araignée jusqu'à ce que le point solaire vienne se placer sur l'almucantar (h). L'homologue en projection stéréographique du cercle horaire \widehat{PSP}' est la droite ps qui fait avec le méridien py l'angle H_v correspondant à l'heure cherchée.

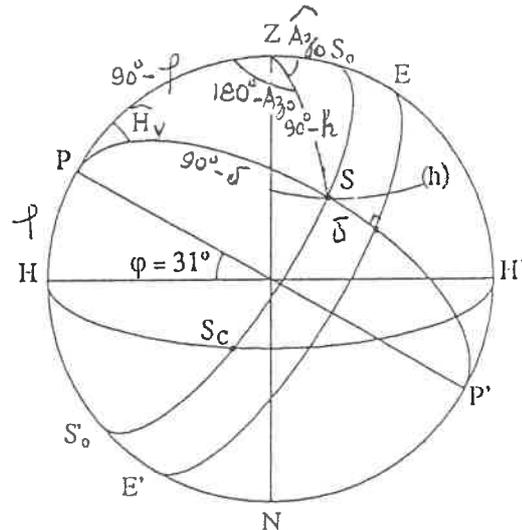


FIGURE 14a

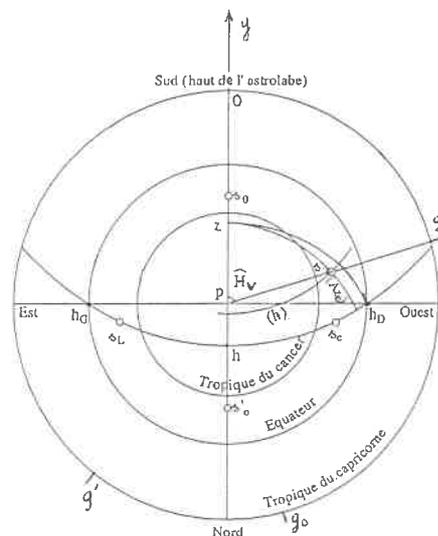


FIGURE 14b

En prenant l'intersection de ps avec le limbe gradué en degrés, qui entoure le tropique du capricorne, on obtient la lecture g . L'arc og donne en degrés l'angle H_v cherché. Pour obtenir celui-ci en heures, il suffit d'écrire : $\widehat{H}_v = \frac{0g^\circ}{15}$, car $1 \text{ h} = 15^\circ$.

Dans la plupart des astrolabes une réglette appelée ostensor, tournant autour de p , permet la lecture de g et même de la lecture directe de l'heure sur un deuxième limbe horaire (voir fig. 4b). Mais l'astrolabe d'Abù-Bakr est dépourvu d'ostensor de sorte que l'obtention de l'heure s'opère en deux temps.

La Terre est en perpétuelle évolution...

DIALGEO 2

aussi !



XYGENE

*La base de données
la plus performante
à ce jour !*

- 2 Milliards d'enregistrements
- Vitesse de tri fulgurante

- Interface graphique
- Editions personnalisées

Vous désirez gérer efficacement votre Cabinet et être compétitif devant les défis de l'Europe, Informez vous sur :

DIALGEO DIALCOPRO MAITRE D'ŒUVRE MODULES DIALGEO



Nom Tél.
Adresse



DIALGEO

DIAL Informatique
Chemin de Tuyère - 83440 FAYENCE
Tél. 94.76.05.80 - Fax. 94.84.14.79

On amène d'abord le point solaire sur le méridien supérieur py (culmination du soleil à midi vrai) ; on lit sur le limbe la graduation g_0 correspondant à la position de l'index I de l'araignée (voir fig 10). On amène ensuite par rotation de l'araignée le point solaire sur l'almucantar (h) et on lit sur le limbe la graduation g' correspondant à la nouvelle position de l'index I. Il est clair que le point solaire a tourné de l'angle $g' - g_0 = \widehat{Og}$; l'heure de l'observation est donnée par :
$$\widehat{H}_v = \frac{g' - g_0}{15}$$

b) Pour avoir l'azimut du soleil à l'instant de l'observation, il suffit d'identifier le cercle d'azimut Az_0 passant par s.

Exemple numérique. A Marrakech de latitude $\varphi = 31^\circ$ on observe l'après-midi du 1er juin (calendrier julien) le soleil sous la hauteur $h = 25^\circ$. Déterminer a) l'heure, b) l'azimut du soleil.

a) On sait que le point solaire correspondant au 1er juin est $\sphericalangle 16^\circ$ (Gémeaux 16°)

On trouve respectivement après les deux rotations de l'araignée indiquées ci-dessus :

$g_0 = 165^\circ$, $g' = 238^\circ$. On a donc :

$$\widehat{H}_v = \frac{238 - 165}{15} = \frac{73}{15} = 4\text{h}52\text{m de l'après midi}$$

$$\text{ou } \widehat{H}_v = 16\text{h}52\text{m}$$

b) Le cercle d'égal azimut qui passe par s est le cercle 103° Ouest, interpolé au $1/3$ de l'intervalle entre les cercles d'azimuts occidentaux 100° et 110° . Pour avoir la direction du Nord, d'azimut 180° , il suffit de se placer face au soleil, d'effectuer une rotation de 77° dans le sens horaire et l'on sera face au Nord.

Détermination de l'heure inégale. Bien que les lignes des heures inégales ne figurent que sous l'horizon, correspondant à des heures inégales de nuit, on peut déterminer une heure inégale de jour de la manière ci-après. On effectue une symétrie par rapport au pôle p en considérant le **point antisolaire**, diamétralement opposé au point solaire sur l'écliptique ; on détermine la position de celui-ci par interpolation parmi les lignes des heures inégales de nuit, que l'on interprète comme heures inégales de jour en raison de la symétrie effectuée. Dans l'exemple numérique ci-dessus le point antisolaire est $\sphericalangle 16^\circ$ (Sagittaire 16°).

On opère en un seul temps : on tourne l'araignée de manière que le point solaire vienne sur l'almucantar $h = 25^\circ$, le point antisolaire se trouve alors sur la ligne des heures inégales interpolée au $1/10$ de l'intervalle entre X et XI h : il est donc Xh6m, heure inégale de jour, soit 1h54m heure inégale avant le coucher du soleil, qui se produit à XII h inégales de jour..

6.32 Détermination de l'heure de nuit.

Détermination de l'azimut d'une étoile

En un lieu de latitude φ connue, à une date connue, on mesure, côté Est, la hauteur d'une étoile h.

a) Déterminer l'heure de l'observation,

b) Déterminer l'azimut de l'étoile.

a) Il s'agit encore du problème n°7 ; sa résolution donnera l'angle horaire H de l'étoile et non l'heure, mais à l'astrolabe la pointe du crochet de l'étoile présente une certaine différence s'ascension droite avec le point solaire, de sorte qu'en utilisant le cercle horaire du point solaire on obtient directement l'heure.

b) En ce qui concerne l'azimut de l'étoile c'est évidemment le cercle d'égal azimut passant par l'étoile qui donnera l'azimut de celle-ci.

Nous raisonnerons directement sur l'exemple numérique suivant :

Exemple numérique. A Marrakech de latitude $\varphi = 31^\circ$, on observe dans la nuit du 1er au 2 juin l'étoile Rasalhague (n° 22 fig 10) du côté Est sous la hauteur $h = 51^\circ$.

Déterminer : a) l'heure ; b) l'azimut de l'étoile.

a) On fait tourner l'araignée de manière que la pointe du crochet de l'étoile n° 22 vienne se superposer à l'almucantar 51° côté Est. Le point solaire $\sphericalangle 16^\circ$ se trouve alors exactement sur la ligne des heures inégales III ; il est donc IIIh inégales de nuit, après le coucher du soleil.

Pour obtenir l'heure égale on amène d'abord le point solaire sur le méridien supérieur et comme dans l'exemple numérique du n° précédent on lit devant l'index I de l'araignée : $g_0 = 165^\circ$; on tourne ensuite l'araignée de manière à amener la pointe du crochet de l'étoile n° 22 sur l'almucantar 51° , l'index I se trouve alors devant la graduation $g' = 307^\circ$.

Dans cette rotation de l'araignée le point solaire a tourné de l'angle : $g' - g_0 = 307^\circ - 165^\circ = 142^\circ$

de sorte que l'heure de l'observation est :

$$H_v = \frac{142}{15} = 9\text{h}28\text{m,}$$

après le midi solaire, soit 21h28m.

b) On constate que c'est le cercle d'égal azimut 70° Est qui passe par l'étoile ; l'azimut de celle-ci est donc $AzE = 70^\circ$. Si on fait face à l'étoile et si on tourne de 70° dans le sens horaire on se trouvera face au Sud.

6.33 Détermination de l'heure et de l'azimut

du lever au coucher du soleil

En un lieu de latitude φ et à une date connue quelle est l'heure du coucher du soleil, quel est son azimut.

Application numérique $\varphi = 31^\circ$, date 1er juin en calendrier julien.

a) *Heure du coucher du soleil le 1er Juin.* Nous avons à résoudre un problème correspondant au cas particulier du problème général n° 7 (n° 6.2) où le paramètre h, hauteur de l'astre est nul (voir fig 14 b soleil en s_c sur le cercle horizon). Raisonons directement sur l'application numérique. Le point solaire est $\sphericalangle 16^\circ$; en amenant ce point sur le méridien supérieur on trouve toujours devant l'index I : $g_0 = 165^\circ$; faisons tourner l'araignée de manière à amener le point solaire en s_c sur le cercle horizon côté Ouest, l'index I se trouve devant la graduation $g' = 269^\circ$. L'heure cherchée est :

$$H_v = \frac{269 - 165}{15} = \frac{104}{15} = 6\text{h}56\text{m de l'après-midi ou } 18\text{h}56\text{m}$$

Il est intéressant de comparer cette heure de coucher du 1er juin avec celle du solstice d'été qui se produit le 15 juin. En amenant le point solaire σ sur le méridien supérieur, l'index I se trouve devant la graduation $g'_o = 180^\circ$; faisons tourner l'araignée de manière à amener le point solaire σ sur le cercle horizon coté ouest ; l'index I se trouve devant la graduation 285° . L'heure du coucher du soleil au solstice d'été est : $H_o = \frac{285 - 180}{15} = \frac{105}{15} = 7h00m$

de l'après-midi où 19h00m.

On en déduit que la durée du jour solsticial d'été est 14h, résultat obtenu directement sur le tympan à la fin du n° 2.1.2.2. Dans les deux cas il s'agit de la durée du **jour théorique** qui ne tient pas compte de la réfraction.

b) *Azimut du soleil à son coucher le 1er juin.* On trouve que c'est le cercle d'égal azimut 117° qui passe par le point solaire $\sphericalangle 16^\circ$.

Azimut du soleil à son coucher au solstice d'été.

On constate que le point u_D situé à l'intersection du tropique du cancer et du cercle horizon (fig 4b) se trouve sur le cercle d'égal azimut 117° .

Ainsi au solstice d'été le soleil à son coucher a encore pour azimut 117° . Celui-ci n'a pas varié du 1er juin au 15 juin, du moins à la précision des lectures à l'astrolabe près ; cela nous permet de comprendre l'origine du mot **solstice** qui vient de l'assemblage de deux mots latins : sol = soleil, stare = s'arrêter. A l'approche du solstice d'été le soleil couchant (il en est de même du soleil levant) ralentit sa course à l'horizon, reste pratiquement au même point de l'horizon pendant plusieurs jours, avant de rebrousser chemin (voir fig 15).

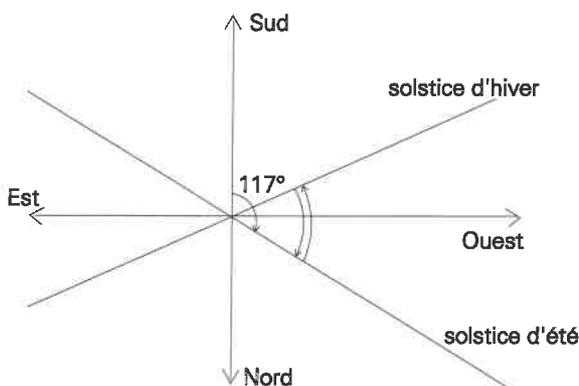


FIGURE 15

6.3.4 Utilisation de l'astrolabe à des fins religieuses

6.3.4.1 Les heures des prières musulmanes

Nous avons indiqué en 2.1.2.3 à quelles lois obéissaient les heures des prières musulmanes. Les lignes des heures des prières de midi et de l'après-midi sont sous

le cercle horizon, or ces prières sont récitées de jour, de sorte qu'il est nécessaire d'utiliser le point antisolaire, comme nous l'avons déjà fait précédemment. On amène le point antisolaire, donné par le calendrier zodiacal correspondant à la date d'observation, sur l'une des lignes de prières ; le point solaire se trouve alors sur un almacantar de hauteur h . Sur son minaret le muezzin place le biseau de l'alidade de manière qu'il marque cette hauteur h sur le limbe du dos de l'astrolabe et il attend que les rayons du soleil descendant traversent les deux œilletons des pinnules pour former une tache lumineuse sur un support placé sous la pinnule inférieure ; à ce moment là il chante l'appel à la prière.

Prenons deux exemples correspondant à des cas particuliers ne nécessitant pas l'utilisation de l'araignée de l'astrolabe.

a) Soit à déterminer l'heure de la prière de midi à Marrakech aux équinoxes, où le soleil décrit l'équateur. Sur la figure 4b on voit que la ligne de la prière de midi rencontre l'équateur au point m' , point antisolaire. Le point solaire est le point m diamétralement opposé sur l'équateur, qui se trouve à égale distance des almacantars 48° et 51° , soit $h = 49,5^\circ$. La hauteur méridienne du soleil aux équinoxes correspond à la hauteur du point E de la fig 2 qui est $90^\circ - \varphi = 90^\circ - 31^\circ = 59^\circ$. Il faudra donc attendre que le soleil passe de la hauteur 59° à la hauteur $49,5^\circ$. Le **muezzin** place le biseau de l'alidade de façon qu'il marque sur le limbe du dos de l'astrolabe la hauteur $49,5^\circ$ et il attend que les rayons du soleil descendant traversent les deux pinnules ; lorsque cela se produit le **muezzin** lance l'appel à la prière de midi. Le tympan de l'astrolabe nous a donné $49,5^\circ$; le calcul donne $49,6068^\circ$

b) Soit à déterminer l'heure de la prière de l'après-midi aux équinoxes. Sur la fig 4b on voit que la ligne de la prière de l'après-midi rencontre l'équateur au point n' , point antisolaire. Le point solaire est le point n diamétralement opposé sur l'équateur, qui a pour hauteur 32° ; le calcul donne $31,9915^\circ$

Le muezzin opère comme en a) et lance l'appel à la prière de l'après-midi lorsque le soleil atteint la hauteur 32° .

6.3.4.2 Le graphique des azimuts de la Qibla

Des astronomes arabes ont résolu de façon très astucieuse le problème de l'orientation vers la Mecque.

En effet contrairement au rite chrétien, dans lequel les chœurs des églises sont orientés vers l'Est, l'un des points cardinaux, le Coran exige que l'orientation des mosquées, celle des fidèles dans leurs prières ait lieu dans la direction de La Mecque et même dans la direction de **la Qibla**, la place centrale de La Mecque. Certains types d'astrolabes comportent, pour les villes d'une certaine importance du monde musulman, un graphique dit des **azimuts de la Qibla**, qui permet à chaque jour de l'année de connaître quelle est, en cette ville, la hauteur du soleil lorsqu'il a le même azimut que la Qibla.

Il suffit alors de placer l'alidade de l'astrolabe de manière que son biseau intercepte sur le limbe du dos de l'astrolabe la hauteur en question et d'attendre que les rayons du soleil traversent les œilletons des deux pinnules, pour être assuré que la direction du soleil coïncide avec celle de la Qibla.

6.3.4.3 Les heures des prières carroniques dans l'occident chrétien

Au moyen-âge et à la Renaissance, on célébrait dans les monastères les offices aux heures dites **canoniques** qui sont :

- la prime, à la première heure inégale après le lever du soleil,
- la tierce, à la troisième heure inégale après le lever du soleil,
- la sixte, à la sixième heure inégale après le lever du soleil, c'est-à-dire à midi solaire,
- la none, à la neuvième heure inégale après le lever du soleil,
- les vêpres, à la douzième heure inégale après le lever du soleil, c'est-à-dire à son coucher.

Le moine préposé à l'astrolabe procédait de la manière suivante, par exemple pour la tierce. Il amenait le point antisolaire correspondant à la date d'observation sur la ligne d'heures inégales III, par rotation de l'araignée. Le point solaire se trouvait alors sur un almucantar de hauteur h ; il plaçait le biseau de l'alidade, de manière à ce qu'il marque sur le limbe du dos de l'astrolabe la hauteur h en question ; ensuite il attendait que les rayons du soleil montant (nous sommes le matin) traversent les œillets des deux pinnules ; à cet instant il sonnait l'heure de la tierce.

6.3.5 La détermination de la fin du crépuscule

Nous savons que l'astrolabe d'*Abù-Bakr* de Toulouse comporte, sur tous ses tympans, la ligne crépusculaire de hauteur -18° ; lorsque le soleil atteint cette hauteur à lieu la fin du crépuscule.

Raisonnons sur un cas particulier, celui du solstice d'hiver, qui ne nécessite pas l'utilisation de l'araignée. Au solstice d'hiver le soleil décrit le tropique du Capricorne dans le mouvement diurne.

Prenons sur le tympan de Marrakech (fig 4b) l'intersection du tropique du capricorne avec la ligne crépusculaire ; ce point se situe soit à 1h1/3 heure inégale de nuit, soit à 6h26m, heure égale. Or le coucher du soleil se produit en m_D à 5 heures égales de l'après midi. La fin du crépuscule se situe donc au solstice d'hiver à $6h26m - 5h = 1h26m$ après le coucher du soleil. Le muezzin observait celui-ci depuis son minaret et au moment où le centre du soleil passait à l'horizon (1) il déclenchait un sablier ou une horloge à eau. Lorsque 1h26m s'était écoulée il annonçait la fin du crépuscule, où toute activité humaine cessait, en raison notamment des difficultés que l'on avait à s'éclairer.

6.3.6 Les usages astrologiques de l'astrolabe

Détermination de l'ascendant.

On appelle **ascendant** le degré de l'écliptique qui se lève à l'horizon lors de la naissance d'un individu. Pour déterminer celui-ci on utilise le tympan astronomique correspondant à la latitude du lieu. Par rotation de l'araignée, on amène le point solaire ou le point antisolaire, selon que la naissance a lieu la nuit ou le jour, sur la ligne des heures inégales, correspondant à l'instant de la naissance et l'on note le degré de l'écliptique situé sur le cercle horizon, côté Est.

Autres déterminations :

On détermine de même le centre du couchant, le *medium cœli* et l'*imum cœli*.

Le centre du couchant est le degré de l'écliptique qui se couche à l'horizon au moment de la naissance d'un individu, le *medium cœli* est le point de l'écliptique qui culmine au même moment, l'*imum cœli* est le point qui passe au même instant au méridien inférieur.

Détermination de l'horoscope :

Pour déterminer l'horoscope il faut substituer au tympan astronomique le tympan astrologique de même latitude. Par rotation de l'araignée on amène l'ascendant sur le cercle horizon côté Est. Comme le tympan comporte les limites des maisons on visualise le tracé de l'écliptique parmi les maisons et les décans et l'on peut déterminer les positions : du point solaire, des signes du zodiaque, des étoiles de l'araignée et des constellations, auxquelles elles appartiennent. On peut trouver aussi les positions de la lune et des cinq planètes connues à l'époque, à condition de disposer d'éphémérides, donnent pour le jour et l'instant considéré le degré de l'écliptique qu'occupent ces astres. On tire de cela et des tables astrologiques du fond de la mère l'horoscope de l'individu.

6.3.7 L'astrolabe en navigation

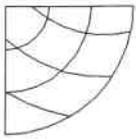
Contrairement à une idée faussement répandue, l'astrolabe planisphérique que nous venons de décrire n'a jamais été utilisé en navigation pour une raison simple ; son utilisation nécessite la connaissance de la latitude du lieu où l'on se trouve ; or la latitude est justement l'un des paramètres qu'il faut déterminer en navigation.

On a tendance à confondre l'astrolabe planisphérique et l'astrolabe nautique, constitué d'une lourde couronne circulaire graduée, munie d'une alidade, qui l'on tenait à la main au moyen d'un anneau prévu à cet effet. Mais en raison des mouvements du navire l'utilisation de cet astrolabe, de même que celle d'autres instruments permettant la mesure des hauteurs des astres était quasi impossible en mer avant l'invention du sextant. Lors de l'exploration des côtes d'Afrique à la fin du 15^e siècle, les marins portugais effectuaient à terre les observations de latitude prescrites par le roi du Portugal Jean II.

6.3.8 L'astrolabe instrument pédagogique dans le cadre du quadrivium

Dans l'occident chrétien les études dans les Universités comportaient au moyen-âge et à la Renaissance l'enseignement du trivium et du quadrivium ; celui-ci était composé de quatre disciplines : l'arithmétique, la géométrie, la musique et l'astronomie. Comme nous avons pu le constater notamment en 2.2.1.2 et en 6.3.3 l'astrolabe présente un intérêt pédagogique certain ; nous savons aussi qu'il permet la résolution de douze problèmes astronomiques liés au triangle de position, énumérés en 6.2. Pour ces raisons l'astrolabe a été très utilisé pour l'enseignement de l'astronomie dans le cadre du quadrivium.

(1) Au n° 6.33 et dans ce paragraphe traitant de couchers du Soleil on néglige la réfraction.



TOPOLISP 2D

Développé pour "AutoCad" en langage "C", "ADS" et "AutoLisp"

“ Plateforme DOS - Windows - Macintosh - SUN Sparcstation ”

TOPOLISP 2D est un logiciel développé par **SETAM informatique** à l'ATTENTION DES GEOMETRES ET TOPOGRAPHES, ainsi qu'à tous SERVICES TECHNIQUES ayant besoin d'AutoCAD pour la production de ses plans.

TOPOLISP 2D permet une utilisation performante et aisée d'AutoCAD, par une approche novatrice, son utilisateur peut réaliser sous AutoCAD tous types de plans : PLAN TOPOGRAPHIQUE DU 1/10 AU 1/10 000, PLAN D'INTERIEUR, PLAN DE DIVISION, PLAN DE LOTISSEMENT, PLAN DE V.R.D.

TOPOLISP 2D améliore considérablement la productivité par rapport à une configuration standard avec AutoCAD seul.

FONCTIONNALITES DE TOPOLISP-2D

→ INTERFACE AVEC LA PLUPART DES LOGICIELS DE CALCUL TOPO.

- Récupération de points topo avec : numéro, X, Y, Z, et code avec la possibilité de choisir au moment du chargement de dessiner piqué, le numéro, ou l'altitude du point. Chargement des points à ce jour 10 000 points en 10 secondes
- Mode d'accrochage au-plus-près d'un point topo.

→ REPORT DE POINTS AVEC CADRE, CARROYAGE ET COORDONNEES

- Mise en place d'un cadre à différents formats.

→ CONSTRUCTIONS GEOMETRIQUES ETENDUES

Construction d'entités AutoCAD en "TRANSPARENT"
Ces fonctions permettent la construction d'objets topographiques avec une grande facilité, ainsi que l'interprétation de croquis complexes issus de levés traditionnels "à l'ancienne".

→ FONCTIONS GLOBALES DE PRESENTATION ET DE MISE EN PAGE

- Mise en place de cartouches et de titres modifiables.

→ TALUS CARTOGRAPHIQUES ET TOPOGRAPHIQUES

Les talus sont dessinés en tenant compte des normes cartographiques. Quatre modules le dessin automatique des talus.

→ BIBLIOTHEQUES DE SYMBOLES PONCTUELS

- La plupart des symboles topographiques vous est fournie.

→ BIBLIOTHEQUE DE SYMBOLES LINEAIRES

Nombreux symboles topographiques (limites de communes, rangées d'arbres, etc...), ainsi que des fonctions permettant à l'utilisateur de générer ses propres symboles linéaires.

→ CALCUL AUTOMATIQUE DE POINTS ISOLES

Utilisation : Permet le calcul de toute construction géométrique et la mise à jour de tout nouveau point calculé (intersections avec et sans décalage. Les points alignés avec et sans compensation (levés d'intérieur..) Les points rayonnés, ou connus en abscisses/ordonnées sur une base.

→ CONTROLE DE TOUT POINT OU OBJET CREES DANS AUTOCAD

L'utilisateur de **TOPOLISP-2D** est aidé dans la construction de son document par la possibilité qui lui est fournie de se contrôler à tout instant.

→ COTATIONS AUTOMATIQUES, SUPERFICIES ET COORDONNEES

Utilisation : Lotissements, Projets, implantations

- Calcul et dessin des tableaux des résultats avec indication des éléments géométriques.
- Annotations diverses (superficies, numéros des lots à l'intérieur des POLYLIGNES).

L'ensemble de ces opérations est automatisée au maximum.

→ CALCULS DES ELEMENTS D'IMPLANTATION

Les points créés lors de l'opération précédente sont récupérables comme pour tout calcul de point isolé.

En vue d'une implantation sur le terrain, ou pour toute autre utilisation, des éditions en listing sont prévues avec calcul des gisements - distances et d'absisses / ordonnées à partir d'une ou plusieurs stations.

La liaison avec des STATIONS COMPLETEES TERRAIN est possible par l'adjonction de modules en option.

→ DESSIN DE PROFIL EN LONG ET EN TRAVERS TN

Trois modules effectuent le montage automatique des profils en long ou en travers TN, avec le paramétrage des échelles, le contrôle du plan de comparaison, la génération automatique des écritures, la mise en page suivant l'échelle du plan, etc...

→ COURBES DE NIVEAUX SEMI-AUTOMATIQUE

→ NON CHEVAUCHEMENT DES TRAITS ET TEXTES

→ DIGITALISATION : Méthode d'Helmer.

L'OPTION TOPOCODE (codification sur le terrain)

Ce module génère jusqu'à 75% du plan à partir du levé avec utilisation d'une codification simple à 2 ou 3 chiffres. Pratiquement aucune contrainte n'est imposée sur la méthode du levé, c'est-à-dire que l'opérateur peut continuer à lever ses points d'une manière traditionnelle.

L'OPTION GEOSET (calculs topométriques)

GEOSET est un logiciel de calculs Topométriques.

Il permet :

- 1- Le traitement des carnets électroniques
- 2- Le Calcul automatique des polygonaux d'appui en XYZ
- 3- Le Calcul des points de détail N,X,Y,Z,+ CODE et la création d'un Fichier pour le traitement par TOPOLISP sous AUTOCAD.

SETAM Informatique Au service du Géomètre depuis 1973

2, rue du Square Jean-Gibert "Cressely" 78114 Magny-les-Hameaux ☎ : 30 52 40 49 Fax : 30 52 11 25
RCS Versailles A 343 105 029 - SIRET 343 105 00023 - APE 516G - FR 84 343 105 029 - Agrément formation n°11780298678

7 BREF HISTORIQUE DE L'ASTROLABE

L'astrolabe (du grec "preneur d'astres") est essentiellement un instrument scientifique dont la conception résulte de l'interférence de deux sciences majeures, dans lesquelles ont excellé les Grecs : l'astronomie et la géométrie. Le principe de l'astrolabe repose sur l'utilisation de la projection stéréographique que l'on doit vraisemblablement à *Apollonius de Perge*, l'auteur des Coniques qui vivait à la fin du III^e siècle avant J.-C. ; la première utilisation du principe de l'astrolabe pourrait remonter à *Hipparque*, le plus grand astronome de l'Antiquité, qui observait vers 150 avant J.-C.

Tout astrolabe est à la fois une œuvre d'art et un instrument astronomique, l'un des plus performants qu'ait conçu le génie humain pour scruter le ciel et résoudre tous les problèmes astronomiques liés au triangle de position.

L'astrolabe dans l'Antiquité

Vers 150 après J.-C., *Ptolémée* cite dans la *Tétrabible*, sous le nom "d'instrument horoscopique", un instrument très voisin de l'astrolabe. Mais la première description de l'astrolabe, permettant de résoudre 11 problèmes dont certains d'astrologie, est celle de *Jean Philopon*, qui vécut à Alexandrie vers 550 après J.-C. Vers 650, l'évêque syriaque *Sévère Sebokht* décrit l'instrument et son mode d'emploi en résolvant 25 problèmes. Tous les ouvrages arabes qui suivront se référeront au traité fondamental de *Sebokht*.

L'astrolabe dans le monde arabe

Alors que l'astrolabe de Philopon ne comportait que les cercles de hauteur égales (nommés par les Arabes **almucantarats**, terme que nous avons conservé en Occident), les Arabes ajoutent les **cercles d'égal azimut**, qui leur permettent de s'orienter de jour et de nuit dans les déserts. L'astrolabe le plus ancien, conservé jusqu'à nos jours, a été construit en 927-928 ; il est présenté au Musée national du Koweït.

En 647, les Arabes avaient pénétré en Afrique du Nord et en 710 en Espagne, développant dès le VIII^e siècle un important foyer culturel à Cordoue, animé à la fin du Xe siècle par l'astronome *Maslama* de Madrid ; on lui doit des tables de médiation - déclinaison d'étoiles, qui corrigées de l'effet de précession des équinoxes (1) ont servi à *Abù-Bakr* à positionner les étoiles de l'araignée de son astrolabe.

Au XI^e siècle, *Arzachel* de Tolède invente la **saphaea**, astrolabe universel, dont le principe sera repris cinq siècles plus tard dans l'**astrolabe catholique** de *Gemma Frisius*. Aux XII^e et XIII^e siècles, le Maroc avec sa capitale Marrakech (que l'on désigne par "Maroc") et avec Fez, devient un foyer important d'études astronomiques et de réalisation d'astrolabes. C'est en 1216-1217 qu'*Abù-Bakr* construit à Marrakech l'astrolabe du Musée Paul Dupuy ; on continuera à réaliser des astrolabes au Maroc jusqu'au XVIII^e siècle.

L'*astrolabe d'Abù-Bakr*, est de type **hispano-mauresque** ; il a été détenu par le couvent des Frères prê-

(1) *Précession des équinoxes* : Mouvement qui affecte le déplacement sur l'écliptique du point vernal γ et des signes du zodiaque par rapport à la sphère des fixes ; le déplacement est de 1° tous les 70 ans ; donc les tables d'étoiles utilisées par les astrolabistes ne sont valables que pour une période déterminée.

chers de Toulouse (devenus par la suite les Jacobins), par l'astronome *Jean Vidal* de Mirepoix, directeur de l'observatoire de Toulouse de 1800 à 1807. Il fut cédé en 1893 au Musée Saint-Raymond de Toulouse, puis transféré en 1949 au Musée Paul Dupuy.

L'introduction de l'astrolabe en Occident

La Catalogne et notamment l'abbaye de Ripoll ont joué un rôle important dans l'introduction de l'astrolabe en occident.

Le premier traité d'astrolabe latin qui figure dans le manuscrit 225 du Fonds de Ripoll (bibl. de Barcelone) serait d'un certain *Lupitus*, avec lequel fut en relation *Gerbert d'Aurillac* ; celui-ci, qui séjourna en Catalogne, devint Pape en 999 sous le nom de *Sylvestre II* et contribua beaucoup à la diffusion de l'astrolabe en occident.

Du 10^e siècle daterait l'astrolabe carolingien de la collection *Marcel Destombes*, actuellement exposée au Musée de l'Institut du Monde arabe à Paris ; cet astrolabe pourrait être le plus ancien astrolabe latin.

Les historiens de l'astrolabe utilisent fréquemment le terme d'école **hispano-mauresque** pour désigner une école d'astrolabistes ayant opéré en Espagne et au Maroc. Ces astrolabistes ont puisé aux mêmes sources antiques qui sont essentiellement : l'*Almageste*, la *Tétrabible*, le *Planisphère*, ouvrages de *Ptolémée* qui vivait à Alexandrie au 2^e siècle de notre ère. Il en résulte que les astrolabes hispano-mauresques, tels que celui d'*Abù-Bakr* ont des points communs avec les astrolabes gothiques. Sur l'astrolabe d'*Abù-Bakr* du Musée de l'observatoire de Strasbourg, antérieur de huit ans à celui de Toulouse, l'inscription des mois et des signes du zodiaque du calendrier zodiacal est en caractères gothiques, ce qui peut paraître surprenant pour un astrolabe réalisé à Marrakech. Comme dans l'occident latin les astrolabistes arabes utilisent le calendrier julien, car le calendrier musulman, lunaire, est totalement inadéquat.

Mais inversement les apports de l'astronomie islamique médiévale sont évidents dans le vocabulaire occidental : nadir, zénith, almucantarats sont des mots arabes ; les araignées des astrolabes gothiques portent aussi des noms d'étoiles arabes, par exemple : Altaïr, Dénéb, Véga, étoiles du triangle d'été, Aldébaran (la suivante), Algol de al-gul (la goule), Rasalhague, etc..., ces noms d'étoiles ayant subsisté jusqu'à nos jours.

Diffusion de l'astrolabe dans le Monde chrétien au Moyen âge et à la Renaissance.

Au 11^e siècle se développent en Lotharingie des foyers d'études astronomiques, où l'on utilise l'astrolabe, tels que ceux des écoles cathédrales de Cologne, de Liège, de l'École de St-Gall (Suisse actuelle). Un moine de Reichenau, abbaye bénédictine d'une île du Lac de Constance, connu sous le nom d'*Hermann le Boiteux* (1013-1054) est considéré comme l'un des précurseurs de la transmission de la science arabe en occident et de l'introduction de l'astrolabe ; il est l'auteur de deux ouvrages : "De mensura astrolabii" et "de utilitatibus astrolabii".

Au 12e siècle paraissent plusieurs traités sur l'astrolabe, de *Raymond de Marseille*, de *Rodolphe de Bruges*, de *Jean de Séville*, etc... L'astrolabe apparaît sur les vitraux des cathédrales comme symbole de l'astronomie. Le fils d'*Abélard* et d'*Héloïse* est appelé *Astrolabe*.

En 1143 *Hermann le Dalmate* (ou de Carinthie) achève à Tolosa la traduction du Planisphère de *Ptolémée* qui traite de la projection stéréographique. L'ouvrage de Ptolémée avait été traduit du grec en arabe par *Maslama*, déjà cité et c'est cette traduction arabe qui elle-même est traduite en latin par *Hermann le Dalmate* ; elle fera faire de sensibles progrès à la compréhension des propriétés de la projection stéréographique et à la construction des astrolabes.

A la fin du 13e siècle *Profatius* découvre le quadrans novus, réduction de l'astrolabe à l'un de ses quarts, ce qui donne l'astrolabe-quadrant.

Au début du 15e siècle *Jean Fusoris* écrit le premier traité sur l'astrolabe en langue française et réalise à Mezières-sur-Meuse un certain nombre d'astrolabes, notamment pour le Pape et le Roi d'Aragon.

Au 16e siècle Nuremberg et la région de Louvain-Anvers deviennent des foyers actifs d'études astronomiques et de réalisations d'astrolabes.

A Louvain en 1550 *Gemma Frisius* reprend le principe de la *Sphaera d'Arzachel* et décrit dans le "De astrolabico liber" un astrolabe universel, valable pour toutes les latitudes qu'il appelle **l'astrolabe catholique** ; il utilise encore les propriétés de la projection stéréographique, mais non plus de la projection stéréographique polaire.

Le Musée Paul Dupuy possède dans ses collections un astrolabe sur quart de cercle, unique en son genre, réalisé à Anvers en 1579 par *Adrien Descrolières*, dont l'une des faces est justement un astrolabe catholique, celle-ci étant malheureusement cachée aux visiteurs, car posée contre le fond de la vitrine. L'autre face de ce quart de cercle comporte : une **table des horizons**, astrolabe universel pour les latitudes de 1 à 90°, mais avec lequel on ne peut résoudre que des problèmes liés aux levers et aux couchers des astres,

- une araignée avec calendrier grégorien, bien qu'à recto figure la date 1579 de réalisation de l'astrolabe

- un **abaque de transformation des heures égales** en heures inégales. La présence de cet abaque montre qu'en cette fin du 16e siècle on continuait à utiliser les heures inégales.

Un des plus célèbres astrolabistes de Louvain fut *Gualterus Arsenius*, qui réalisa de remarquables astrolabes, gravés souvent sur les deux faces d'un astrolabe catholique et d'un astrolabe classique à araignée.

Le 16e siècle voit aussi la vogue des **horloges astrolabiques de table**, telle que celle d'*Isaac Habrecht*, construite à Strasbourg en 1578, l'une des pièces les plus remarquables de la collection d'horlogerie de la donation *Edouard et Gaston Gélis* à la ville de Toulouse.

Dans une horloge astrolabique le mouvement d'horlogerie entraîne sur la face arrière de l'horloge la rotation de l'araignée par rapport à un tympan établi pour la latitude du lieu, soit $\varphi = 48^\circ$, latitude de Strasbourg.

Si l'horloge d'*Habrecht* est d'une réalisation remarquable au point de vue horlogerie et artistique, le constructeur n'avait cependant pas le savoir-faire d'un astrolabiste ; j'ai noté en effet plusieurs fautes ou erreurs : erreurs de dénomination d'étoiles, faute d'un demi degré dans l'obliquité de l'écliptique, faute dans la position de la ligne crépusculaire ; mauvaise numérotation des maisons du ciel.

Aux 16e et 17e siècles les horloges qu'elles soient astrolabiques ou non pouvaient avancer ou retarder par jour d'un quart et d'heure et même davantage. Aussi pour régler ces horloges on utilisait soit un cadran solaire, soit un astrolabe avec son alidade pour viser le soleil ou des étoiles ; si on admet une précision de l'ordre du degré obtenue à l'astrolabe, cela correspond en temps à quatre minutes.

Les progrès réalisés dans les constructions des horloges ont été l'une des causes du déclin de l'astrolabe au 18e siècle dans le monde occidental.

Comme les astrolabes présentent tous de réelles qualités artistiques, ils font l'objet depuis la fin du 18e siècle d'un commerce d'art pratiqué par des antiquaires spécialisés. Mais des astrolabes bien imités d'après des modèles anciens, donc non authentiques, sont souvent mis en circulation dans les circuits commerciaux. Des spécialistes arrivent à déceler les falsifications en s'aidant notamment de l'analyse des métaux utilisés. En général les astrolabes anciens authentiques sont vendus à des prix très élevés pouvant atteindre ou dépasser le million de nouveaux francs.

7 CONCLUSION

L'astrolabe est donc à la fois un instrument scientifique, mais aussi un objet d'art, cette fonction ayant tendance à occulter la première. Si on admet que l'astrolabe a été utilisé pour la première fois par Hipparque vers 150 avant J.-C. et qu'on en fabriquait encore en Occident vers 1750, cela donne à cet instrument, l'un des plus ingénieux et les plus performants qu'ait conçu l'esprit humain, une longévité tout à fait remarquable de 1900 ans environ, soit près de deux millénaires.

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

- 1 Michel (Henri), *Traité de l'astrolabe*, 2 éditions, Paris, 1947 - 1976 épuisées. L'ouvrage peut être consulté en bibliothèque.
 - 2 Saunders (Harold), *All the astrolabes*, Oxford, 1984.
 - 3 National Maritime Museum Greenwich, "The planispheric astrolabe" ; plusieurs éditions.
 - 4 Webster (Roderick S.), *The astrolabe. Some notes on its history, construction and use*. Lake Bluff, éd. 1974.
- Les ouvrages 3 et 4 sont accompagnés d'un carton pré-découpé permettant au lecteur de construire lui-même un astrolabe en carton, mais pour une latitude en général différente de celle du lieu de résidence.
- 5 d'Hollander (Raymond), *L'astrolabe. Les astrolabes du Musée Paul Dupuy de Toulouse*, 1993.

NOTE DU COMITÉ DE RÉDACTION DE XYZ

Si les ouvrages d'ordre historique concernant l'astrolabe sont nombreux, ceux qui en exposent la technique et les conditions pratiques d'utilisation sont plus rares. Dans la bibliographie ci-dessus l'auteur en a choisi quatre, dont un en langue française, les trois autres en langue anglaise. Or l'ouvrage d'Henri Michel : le "Traité de l'astrolabe" a ses deux éditions épuisées.

C'est la raison pour laquelle un double titre a été donné à l'ouvrage (bibl 5) "L'astrolabe, les astrolabes du Musée Paul Dupuy de Toulouse", dont la parution est en cours, en coédition entre la Mairie de Toulouse et l'Association Française de Topographie, ouvrage qui devrait combler un vide en matière de publications techniques françaises traitant de l'astrolabe.

Le premier chapitre, réservé à l'historique de l'astrolabe, renvoie à de nombreuses références bibliographiques pour ceux qui voudraient en savoir plus sur la prodigieuse histoire de l'astrolabe.

Le chapitre 2, particulièrement développé, est consacré à l'astrolabe en général ; l'auteur a rédigé plusieurs pages pour exposer les notions de cosmographie indispensables à la compréhension du principe de l'astrolabe sphérique, puis de l'astrolabe planisphérique, qui en est issu par projection stéréographique. Il a traité des principales propriétés de la projection stéréographique, de la construction graphique et calculée d'un astrolabe planisphérique, puis abordé les différentes sortes de coordonnées pouvant être utilisées dans l'établissement des catalogues d'étoiles, nécessaires à la construction d'un astrolabe ; il a traité de la **précession des équinoxes** et de la datation d'un astrolabe par mesure des coordonnées de ses étoiles.

Le chapitre 3 est réservé à l'astrolabe d'Abù-Bakr, qui fait l'objet du présent article, mais sous une forme très résumée ; l'ouvrage est beaucoup plus détaillé ; il indique comment l'auteur a déterminé l'obliquité de l'écliptique adoptée par Abù-Bakr, comment il a étudié sur les tympans la précision du tracé des almucantarats et des cercles d'égal azimut. Il propose toute une série d'exercices que le lecteur pourra résoudre, grâce à une araignée transparente fixée à l'ouvrage, qu'il faut faire tourner par rapport au tympan de Marrakech, reproduit dans une page intérieure, solution originale et, à notre connaissance, jamais encore utilisée dans un ouvrage consacré à l'astrolabe.

Le chapitre 4 décrit la curieuse fonction de mesure de hauteurs du quart de cercle de Descrolières (1579), muni d'un fil à plomb et le côté **table des horizons**, avec le **carré des ombres**, l'**abaque des sinus**, le **quadrans sinuum**. On passe ensuite à la description, à la construction et à l'utilisation :

- des différents cercles horizon de 1 à 90°,
- de l'abaque de transformation des heures égales en heures inégales, qui montre que les heures inégales étaient encore en usage à la fin du 16e siècle.

Le chapitre 5 décrit l'**astrolabe catholique**, gravé au verso de la table des horizons. Ce sont tous les deux des **astrolabes universels** valables pour une latitude quelconque.

L'**astrolabe catholique** qui reprend le principe de la saphaea d'Arzachel est d'une ingéniosité remarquable. Le double réseau des courbes qui y sont tracées peut jouer le rôle de coordonnées locales, équatoriales, écliptiques ; par une rotation appropriée on passe d'un système à l'autre. On peut résoudre les mêmes problèmes qu'à l'astrolabe planisphérique et pour n'importe quelle latitude, mais on peut en outre transformer les coordonnées équatoriales du soleil ou des étoiles en coordonnées écliptiques et vice versa. L'auteur indique comment on peut construire le double réseau de cercles de l'astrolabe catholique, pour lequel il propose aussi au lecteur un certain nombre d'exercices, dont il donne la solution.

Le chapitre 6 est consacré à l'horloge astrolabique d'Habrecht ; l'auteur a indiqué dans l'article les insuffisances et les fautes commises par l'astrolabiste dans la réalisation de son araignée ; il a étudié le système de domification du tympan de l'astrolabe, qui est de type différent de celui des tympans astrologiques d'Abù-Bakr.

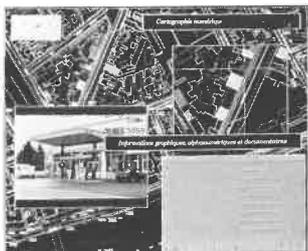
Le chapitre 7 est consacré à une récapitulation des différents types d'astrolabes étudiés, à la construction d'un astrolabe moderne d'un des trois types et aussi d'un pseudo-astrolabe, dans lequel on inverse les rôles de l'araignée et du tympan d'un astrolabe planisphérique. L'araignée fixe est constituée d'une carte du ciel en projection stéréographique ; on dessine pour la latitude du lieu un calque-tympan mobile, à la même échelle que la carte du ciel, comprenant le double réseau des almucantarats et des cercles d'égal azimut pour la latitude du lieu d'observation. Lors des observations il faut disposer d'un garde-temps en temps sidéral ; pour une heure sidérale T_s donnée, il suffit par rotation autour du pôle d'amener le méridien du calque-tympan à coïncider avec la droite horaire de la carte-araignée numérotée T_s et l'on visualise ainsi toute la voûte céleste située au dessus du cercle horizon, les étoiles qui vont se coucher, celles qui viennent de se lever, celles qui vont passer sur l'almucantarats $h = 30^\circ$. Ce pseudo-astrolabe était utilisé lors d'opérations de mesure de longitude et de latitude par la méthode dite des hauteurs égales, avant l'apparition de catalogues électroniques d'étoiles, donnant les heures de passage de celles-ci à la hauteur 30° . L'auteur termine par l'équation du temps et par le calcul de transformation d'une heure solaire obtenue à l'astrolabe en une heure de temps moyen, heure T.U. et heure légale.

En résumé l'ouvrage "L'astrolabe. Les astrolabes du Musée Paul Dupuy de Toulouse" constitue un ouvrage très complet. M. Bernard Guinot, membre correspondant de l'Académie des Sciences et ancien directeur du Bureau des Longitudes souligne dans sa Préface "la richesse et la minutie" du travail de l'auteur, ses qualités pédagogiques... "il n'est pas seulement descriptif, il permet de comprendre". A ce titre il devrait intéresser non seulement les membres de l'A.F.T., mais encore les élèves techniciens-supérieurs et élèves-ingénieurs, qui ont dans leur programme d'enseignement l'étude des méthodes d'orientation astronomiques, qui restent encore les plus précises.

DANS LA PROFESSION...

STAR INFORMATIC

Une nouvelle avance technologique dans les SIG



Leader Européen dans les domaines de l'architecture et de la gestion de patrimoine immobilier, STAR INFORMATIC adresse de nouvelles applications dès 1990 : Les Systèmes d'Informations Géographiques avec STAR CARTO.

Monsieur LEGRAND Responsable SIG à la ville de CAEN, qui a été l'un des premiers sites à profiter de la technologie STAR dans ce domaine : "L'implantation d'un SIG a débuté il y a plus d'un an. Des expériences existaient dans d'autres villes, mais la plupart des systèmes STAR avaient été choisis du fait des connaissances tout naturellement vers un système d'information sur le territoire fonctionnant autour d'applications de gestion et d'aide à la décision. De plus, il y a intégration totale du domaine de la topographie dans le SIG. "Notre challenge consistait à impliquer l'ensemble des services concernés. "Les services voiries eau-assainissement-urbanisme et topographie ont participé à la mise en place du SIG avec la base de données relationnelles associée à STAR CARTO et de nombreuses applications dont STAR TOPO et STAR ARCHI. La facilité d'utilisation

et surtout de mise en place associé au gain de performance a permis d'optimiser l'investissement humain. La récente structure d'accueil d'applications a permis d'intégrer des applicatifs externes et de prévoir des développements. L'exemple du TVR-CAEN illustre bien l'ensemble des différents métiers qui doivent s'intégrer dans le SIG.

STAR met l'accent sur le partenariat étroit entre la puissance du centre de développement Européen, le siège de la société, en Région Wallonne et l'ensemble des clients français. Le support de STAR et l'ouverture du produit vont permettre de renforcer ce partenariat aussi bien avec les fournisseurs de données qu'avec d'autres collectivités ayant des besoins similaires. Le même principe est appliqué dans le domaine de la gestion de patrimoine avec STAR TECHNO. Plus de 140 références dont spécifiquement 15 Collectivités collaborent afin que STAR CARTO intègre les solutions adaptées, les moins coûteuses pour ce marché, ainsi que pour les administrations et les entreprises. C'est un challenge déjà gagné grâce aux récents succès remportés par STAR INFORMATIC.

(Publi-reportage XYZ-AFT)

STAR-INFORMATIC

Le Ponant II - 21 rue Leblanc - 75513 Paris Cedex 15
Contact : Hervé Leroy - Tél : 40.60.11.11 - Fax : 40.60.11.66

EUROSENSE REMPORTE LE CITEC DE LA MEILLEURE INFORMATION TECHNIQUE À LYON



Pour sa première participation au Salon des Ingénieurs des Villes de France, qui s'est tenu à Lyon, du 26 au 28 mai dernier, Eurosense a fait mouche.

Ce salon représente une plate-forme d'innovations spécifiquement conçues pour répondre aux besoins des collectivités territoriales en matière de procédés, produits et services.

Eurosense, spécialiste européen de la production d'information géographique, y présentait entre autres l'orthophotocarte numérique comme une donnée de base pour les SIG à l'aide de panneaux, d'un dossier et de démonstrations à l'écran. Ces informations étaient complétées par une vidéo et une plaquette présentant l'ensemble des activités de la société.

Le jury a octroyé le prix pour la meilleure information technique à Eurosense pour la diversité des média utilisés ainsi que l'esprit de synthèse qui anime la conception des outils de communication.

Eurosense considère ce prix comme un oiseau de bonne augure pour le développement de ses activités en France, où une filiale a été récemment établie. Eurosense a déjà des filiales en Allemagne et aux Pays-Bas.

SYSTEME D'INFORMATION GÉOGRAPHIQUES "GEOCOMM"

Si EDF GDF SERVICES est un distributeur bien connu d'électricité et de gaz, c'est aussi un offreur de services variés aux Collectivités Locales. Ainsi, les Centres départementaux EDF GDF SERVICES proposent-ils depuis maintenant un an une offre basée sur un Système d'Information Géographique (SIG) appelé "GEOCOMM".

Le mois d'avril 1993 a marqué une étape pour GEOCOMM puisqu'à la sortie de la version 1.1 du logiciel s'est conjuguée la signature de 3 nouveaux contrats : les communes de TRILPORT (77), LAMBALLE (22) ET St CAST LE GUILDO (22).

Le mois de mai en est une autre non moins importante puisque nous venons de franchir le cap des "10" premières références GEOCOMM !...

- Le SICOVAL (Syndicat de 33 communes de Haute-Garonne) associé à la société DATAGRAPH de Toulouse,
- la commune de TARNOS (40),
- le LROP (Laboratoire Régional de l'Ouest Parisien bien connu des gestionnaires de la voirie)

et la société de topographie FOCALIS de Montpellier ont décidé de faire confiance à EDF GDF SERVICES pour la mise en œuvre d'un Système d'Information Géographique

ont ainsi rejoint les communes de MOULINS (03), MAYENNE (53), PRE St GERVAIS (93) et le cabinet de géomètre GUERAUD (77).

(Communiqué d'EDF-GDF)

ALIDADE ÉLECTRONIQUE ERK DE BREITHAUP

Dernière née d'une gamme de quelque cent instruments, l'alidade autoréductrice électronique E-RK de Breithaupt facilite les relevés topographiques et se caractérise par sa précision, lors du report des données sur cartes. Elle mesure à la fois rapidement et sûrement les distances d'une portée maximale de 3,5 km, même lorsque l'éclairage est insuffisant, au prisme et la mesure de l'angle vertical est électronique. Elle compense automatiquement l'axe vertical en direction du point de visée, affiche digitalement les distances réduites et les différences de niveaux. Il est possible d'adapter une cal-

culatrice à interface intégrée de façon à obtenir, en outre, le calcul et l'affichage de la valeur réelle de la hauteur du point-cible au-dessus de la mer. D'un manière facile, l'E-RK permet en outre de prendre des mesures en bord de planchette ou à pic vers le sol grâce à un système de rotation du distancemètre de 180° par rapport à la plaque d'assise.

*(Distribué par "Le Pont Equipements"
BP 66 - 38206 Vienne Cedex - Tél : 74.31.41.21)*

UNE FONDATION POUR L'HISTOIRE DE LA CARTOGRAPHIE

Pour financer des bourses destinées à des chercheurs de haut niveau en histoire de la cartographie, et ce pour quelques nationalités que ce soit, une fondation britannique a été créée, la "Professor J.B. Harley Research Fellowships in the History of Cartography", ainsi nommée pour perpétuer l'apport considérable de J.B. Harley à cette discipline.

Les bénéficiaires devront travailler en vue d'une publication, et exploiter notamment les importantes ressources

des collections cartographiques de Londres. La préférence sera donnée aux études qui s'attacheront à l'évolution de l'histoire des cartes. La fondation espère distribuer trois bourses annuelles (séjour d'un mois à Londres) en débutant en 1994.

Renseignements : The J.B. Harley Research Fellowships Trust, c/o Map Library, British Library, Great Russel Street, London WC1 b 3 DG.

MIREILLE PASTOUREAU CONSERVATEUR EN CHEF DE LA BIBLIOTHEQUE DE L'INSTITUT DE FRANCE

Mireille Pastoureau, dont un article sur Christophe Colomb à honoré notre numéro spécial sur l'aventurier en janvier dernier, vient d'être nommée conservateur en chef de la Bibliothèque de l'Institut de France. Elle était archiviste paléographe, docteur en histoire, et conservateur en chef au département des cartes et plans à la B.N.

Mireille Pastoureau est l'auteur de différents ouvrages dont la présentation de "L'Atlas du Monde" de Nicolas Sanson d'Abbeville et "Les Voies Océanes", sur les cartes marines et grandes découvertes dont nous avons rendu compte dans le dernier numéro d'XYZ - (N°55).

6ème CONFÉRENCE SUR LES SIG ET COLLOQUE DE LA COMMISSION II DE LA S.I.P.T.

Se tiendront à Ottawa du 6 au 10 juin 1994 sur le thème : "SIG... une vision partagée". Le programme du colloque SIPT portera sur les technologies de cartographie en temps réel, les systèmes de traitement de données RADAR, les systèmes photogrammétriques numériques, les questions de matériel et de logiciels pour les SIG, les systèmes intégrés de production, le perfectionnement des instruments photogrammétriques, et les technologies conçues pour de grandes quantités de don-

nées spatiales. Les résumés doivent être déposés pour le 5 novembre 1993 et la date limite des dépôts des communications est fixée au 5 mars 1994.

Pour tous renseignements :

M. Mosaad Allam, Président.
615 rue Booth, 7ème étage
Ottawa (Ontario) - CANADA. K1A OE9

L'HYDROGRAPHIE, LES DOCUMENTS NAUTIQUES, LEURS IMPERFECTIONS ET LEUR BON USAGE

(J.N. PASQUAY. SHOM 1993.)

La précision des moyens de localisation (GPS) et la facilité des moyens électroniques de cartographie nécessitent cette publication du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine qui rappelle que les océans doivent être connus sur leur précision et leur imprécision.

Cet opuscule de SHOM fait le point sur le crédit à accorder aux cartes marines. Il attire l'attention sur l'imperfection des documents dans une démarche empreinte de rigueur scientifique toute à l'honneur de SHOM dans notre époque dominée par la publicité à tout crin.

(36 pages - 11F.)

Mesure d'antenne de grande dimension à Plemeur-Bodou à l'aide du système de mesure par rayonnement MONMOS

SOKKIA apporte un nouveau concept dans la métrologie des moyennes dimensions (inférieures à 100 mètres) en développant la station totale NET 2 spécifiquement conçue pour ce type d'applications.

Ce qui fait de la station NET 2 un outil réellement performant est la combinaison d'un théodolite et d'un distancemètre coaxial de grandes précisions

[La résolution du distancemètre est de 0.1 mm. A titre d'exemple, des comparaisons effectuées sur un banc par procédé interférométrique ont conduit à des écarts maximaux de l'ordre de 0.4 mm sur des distances allant jusqu'à 50 mètres, avec des répétabilités de l'ordre de 0.1 mm. Ces écarts doivent pouvoir encore être réduits en appliquant les corrections d'étalonnage du distancemètre.]

qui s'utilise non plus sur prisme mais sur support adhésif réfléchissant.

[C'est là qu'apparaît l'apport principal du distancemètre : l'utilisation du ciblage par support adhésif de dimension réduite (10 x 10 mm pour une portée de 30 m) permet de "coller" à la peau des objets et donc de les définir avec plus de rigueur ; il devient possible de laisser en place de nombreuses cibles de référence pour les contrôles répétés dans le temps, le coût d'une cible étant inférieur à 1 F.HT.]

Afin de proposer un outil complet de mesure en milieu industriel, SOKKIA a associé à la station NET 2 le logiciel METHEOR de traitements des mesures.

[METHEOR est un logiciel spécifiquement développé pour les applications industrielles et propose toutes les fonctionnalités nécessaires au traitement des mesures effectuées avec la station NET 2 : calibrage de plusieurs stations, changements de référentiel, acquisition dans le référentiel créé,

calculs géométriques... Tous ces traitements peuvent bien entendu être réalisés en temps réel ; en particulier, les opérations de contrôle, réglage et implantation deviennent immédiates grâce à l'acquisition des points dans le référentiel de l'objet mesuré.]

On imagine dès lors un éventail des applications potentielles du système dans le domaine de la métrologie dimensionnelle en milieu industriel :

- Contrôle de géométrie de machines, de grosses structures (ponts roulants, structures off-shore) ou de formes complexes (coques de navires, antenne)
- Plans TQC d'installations (piping) pour démantèlement ou remplacement
- Réglages (gabarits) et implantations (machines industrielles).

Toutes ces applications ont été réalisées au stade de la production et on mis en évidence l'efficacité de la station NET 2 pour la gamme de précision submillimétrique :

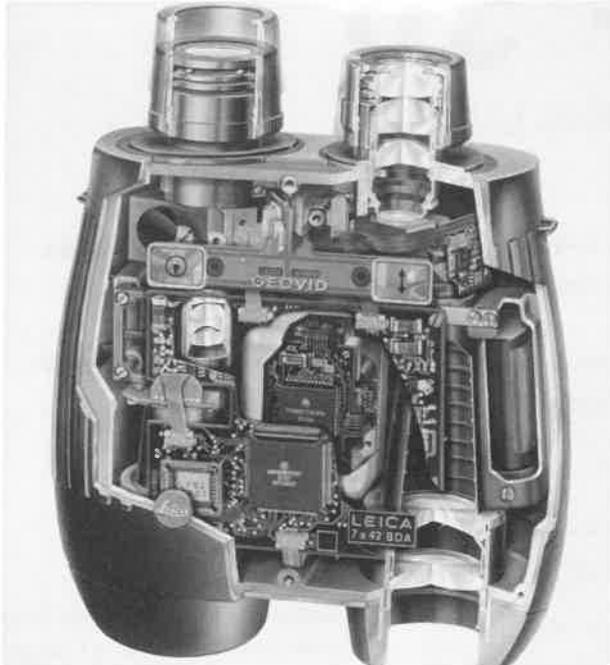
- gain de précision par rapport aux procédés de rayonnement par stations classiques, notamment grâce à l'utilisation de mires adhésives réfléchissantes et des procédures de calcul développées dans le logiciel METHEOR
- plus grande facilité de mise en œuvre par rapport aux systèmes de mesures par intersections, puisque les mesures par rayonnement fournissent des résultats tridimensionnels à partir d'une seule station.

Il est donc probable que la station SOKKIA NET 2, par sa facilité d'utilisation et son faible coût d'exploitation, ouvrira de nouveaux marchés dans le domaine de la métrologie des moyennes dimensions.

*NET 2 est un produit SOKKIA, distribué par SOKKIA FRANCE
12 avenue Gabriel Péri 78360 MONTESSON
Tél. : 30 53 09 73*

(Publi-reportage XYZ-AFT)

Jumelles LEICA Geovid 7 x 42 BDA Elles mesurent l'azimut et la distance



Leica Caméra lance les premières jumelles grand public intégrant deux fonctions supplémentaires.

Elles calculent en moins d'une seconde :

- l'azimut, c'est à dire la position du sujet observé de 0° à 360° par rapport au Nord géographique. Précision de + ou - 0,5°. Ce calcul est effectué par une boussole électronique.

- la distance en mètres de 25 à 1000 m séparant l'observateur du sujet visé. Précision de + ou - 1 m.

La boussole électronique tient compte de tous les paramètres qui pourraient fausser la détermination du Nord géographique (Nord magnétique, champs magnétiques parasites...). L'intégration et la compensation de ces données expliquent la finesse et la précision des calculs.

La distance est obtenue par le calcul du temps de parcours aller/retour d'un rayon laser infrarouge invisible (classe 1 : inoffensif). Ce dernier utilise les propriétés réfléchissantes des matières.

Conjointement à ses fonctions, les jumelles LEICA Geovid offrent une qualité optique indispensable au confort d'observation quelles que soient les conditions de luminosité. Les optiques sont lumineuses (indice crépusculaire de 17,15), traitées anti-reflet et grossissent 7 fois. Ces jumelles sont **fix-focus** : aucune mise au point à faire, l'image est nette de 16 m à l'infini.

Leur gainage en polyuréthane est imperméable à la pluie, à la poussière et aux embruns.

Public désigné : navigateurs, explorateurs, secouristes, chasseurs...

Prix Public : 23 500 F ttc

Points de vente sur demande au (1) 34.26.44.44

106, Boulevard Héloïse - 95100 Argenteuil

(Communiqué de presse)

Systeme L.R.P.

Construit par la firme Raytec, un capteur désigné LRP permet de contrôler le positionnement et les distances de déplacement d'ensembles mobiles. Les principaux composants de ce système sont un émetteur Laser, un récepteur et une unité de traitement de l'information. Deux références de concepts identiques mais de puissances différentes, permettent d'obtenir d'excellentes performances. En ce qui concerne un modèle LRP5, les chiffres annoncés par le constructeur donnent une précision de +/- 0,00125 mm dans une plage de mesure de 5 x 5 mm, une résolution de 0,00125 mm et une reproductibilité de 0,002 mm. La distance de mesure varie de 0 à 10 m pour ce modèle, alors qu'elle peut atteindre 30 m pour la référence LRP25 qui offre une précision de +/- 0,05 mm et une résolution de 0,01 mm. Les domaines d'application sont par exemple la mesure de rails de guidage, la surveillance dynamique des déformations ou des vibrations, le contrôle du parallélisme des rails, des guides ou des axes, l'ajustement de paliers et d'alésages ou l'alignement de constructions ou châssis métalliques.

BULLIER international

142, avenue Georges Clémenceau - BP 916 - 92009 Nanterre Cedex
Tél. : (1) 46 95 09 09 - Fax : (1) 46 95 08 56, présentera le système L.R.P. au XIX^{ème} Colloque AFT à l'**ESTP CACHAN (94)** - 24/25 novembre 1993.



Mesure de la rectitude d'une poutre



Mesures de contrôle de ponts

Laser 3D

L'ACQUISITION DANS L'ESPACE

géomètres, architectes, architectes des monuments historiques, archéologues, gestionnaires du patrimoine, entrepreneurs du bâtiment., architectes navals, industriels...

Laser 3D est destiné à tout ceux qui doivent effectuer des mesures dans l'espace, les gérer, les comparer, les restituer, établir des états descriptifs, des devis...

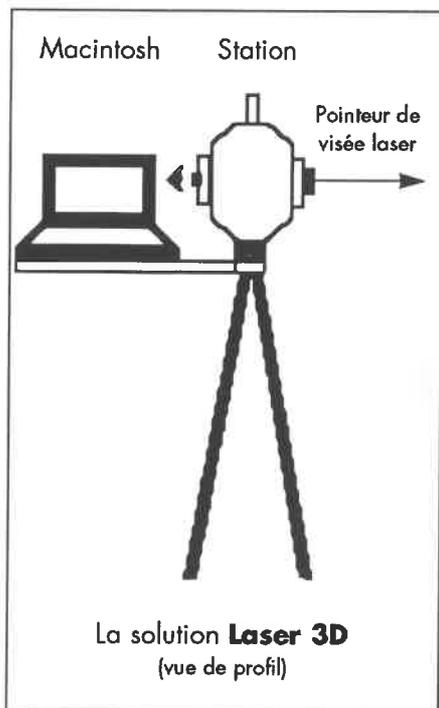
LA SOLUTION LASER 3D

Laser 3D, pilote à partir d'un ordinateur Macintosh portable Powerbook, une station totale motorisée de relevé à visée laser, avec ou sans utilisation de prisme.

Tous les éléments relevés, points, plans et objets, sont stockés et hiérarchisés dans une base de données. L'acquisition de ces éléments est contrôlée graphiquement en temps réel sur l'écran du Macintosh Powerbook.

L'interface ergonomique de Laser 3D et sa simplicité de mise en oeuvre, permettent son utilisation par des intervenants non spécialistes de la mesure.

Le système d'acquisition est autonome, ce qui l'autorise à effectuer des mesures sur le terrain. Les différentes méthodes de saisie permettent des saisies d'éléments difficilement accessibles.



station totale

Une station totale est une station de relevé de points dans l'espace fonctionnant soit comme télémètre laser, soit comme théodolite.

La mesure par télémétrie laser permet de mesurer la distance comprise entre la station et un prisme, par émission d'un rayon infra-rouge.

La mesure à l'aide d'un théodolite permet la mesure de distances par relevés d'angles.

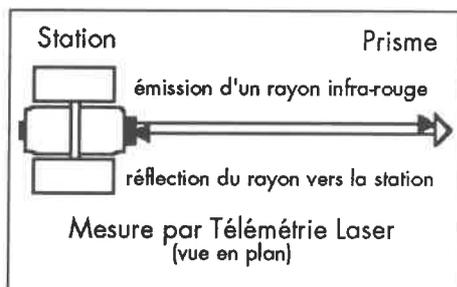
LES MÉTHODES DE SAISIE

Utilisation d'un prisme

Les mesures sont effectuées par télémétrie laser. Un rayon infra-rouge est émis par la station en direction d'un prisme. Au contact du prisme, ce rayon est renvoyé vers la station qui va calculer la distance en fonction du temps mis par le rayon pour effectuer son aller-retour.

Les distances calculées sont enregistrées automatiquement par Laser 3D.

Cette méthode est utilisée quand l'élément à saisir est facilement accessible, avec une précision n'exédant pas + ou - 2 mm à 2000m.



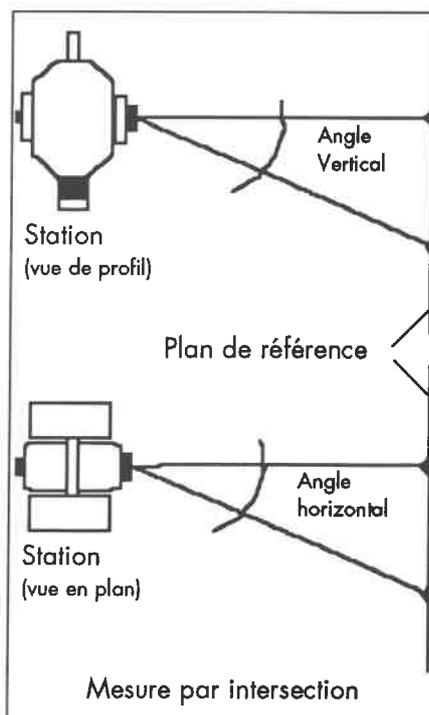
Utilisation sans prisme

Avec une station

La station fonctionne en mode théodolite, et effectue des mesures angulaires directement interprétées par Laser3D.

La méthode utilisée est celle de l'intersection d'une droite (la droite de visée) et d'un plan de référence préalablement défini.

Tous les points situés sur ce même plan de référence vont être positionner selon leurs coordonnées X Y Z et enregistrés par Laser 3D.



Cette méthode permet la saisie de points, de droites et de plans multiples.

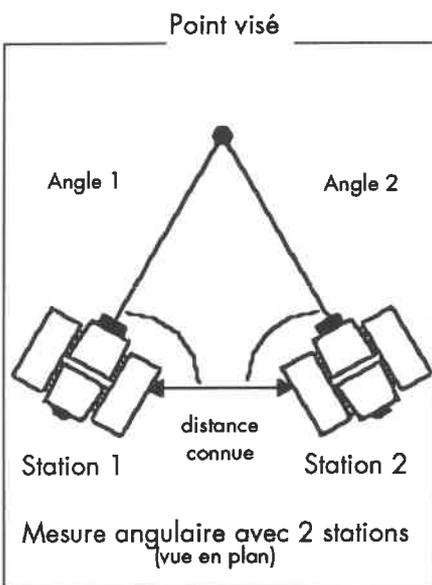
La précision courante obtenue est de 5/10ème de millimètre, et peut atteindre le 10ème de millimètre dans un environnement idéal.

Avec deux stations

Les stations fonctionnent en mode théodolite.

Le relevé s'effectue par triangulation. Chaque station vise le même point. Connaissant la position des deux stations l'une par rapport à l'autre, Laser 3D calcule automatiquement la position du point dans l'espace.

Les précisions obtenues sont identiques à celles obtenues par la méthode de l'intersection.



LES OPTIONS

Visée Laser

Un pointeur Laser peut être adapté sur la station de relevé afin de matérialiser le point visé par un point lumineux.

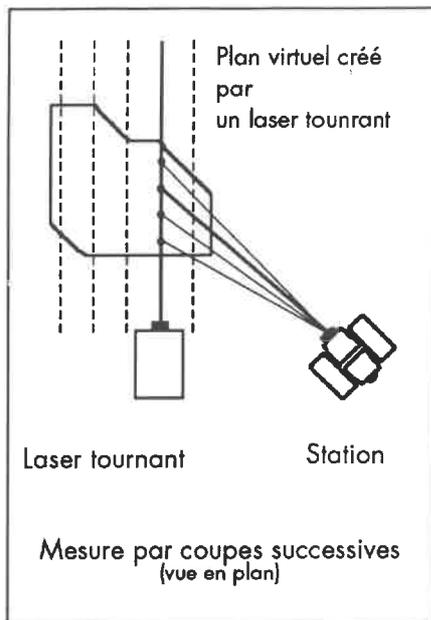
Cette option supprime la visée optique dans certaines applications (relevé intérieur de bâtiments ...).

Dans tous les cas, elle permet une visée immédiate.

Laser tournant

Pour le relevé par la méthode d'intersection d'une droite sur un plan de référence, il est possible de matérialiser le plan de saisie par un plan virtuel généré par un laser tournant.

Pour le relevé d'un élément par sections successives (relevé des couples d'une coque d'un bateau, relevé intérieur d'un dôme de cathédrale, relevé d'une carrosserie automobile...), le plan virtuel généré par le laser tournant marque l'élément d'un trait lumineux sur lequel les saisies vont être effectuées.



GESTION DES DONNÉES

Gestion

A chaque élément saisi, Laser 3D affecte un ou plusieurs attributs. Tous les éléments ainsi relevés, sont rangés et organisés hiérarchiquement dans une base de donnée, à des fins d'éditations d'états récapitulatifs (devis, quantitatifs...). Ces données sont exportables vers tout logiciel de gestion pour un traitement ultérieur.

Export

Grâce à son format d'échanges de fichiers aux normes DXF, Laser 3D sait communiquer avec tous les logiciels de CAO (Autocad, ARC+, Intergraph,...), quelque soit la plateforme utilisée (Macintosh, Compatibles PC, Stations de travail...).

Laser 3D dispose en standard d'une sortie au format 3D Turbo.

Restitution

Laser 3D dispose d'un format d'import pour la récupération de modèles 3D générés par tout logiciel de CAO. Par simple sélection d'un point du modèle 3D sur l'écran du Macintosh, Laser 3D positionne instantanément la visée de la station sur le point correspondant du modèle réel.

Les opérations d'implantations de points ou d'objets dans un site sont ainsi effectuées simplement et rapidement.

LES APPLICATIONS

Relevé de bâtiments

Pour le relevé intérieur et extérieur de bâtiments ou de monuments historiques, Laser 3D offre des fonctionnalités de saisie automatisées particulièrement performantes.

En positionnant la station au centre d'une pièce, le relevé de plancher, plafond, murs, ouvertures, et tout élément constituant la pièce (escaliers, poteaux, points lumineux, gaines de ventilation...), s'effectue grâce aux différentes méthodes de saisie disponibles: saisie automatique de l'enveloppe de la pièce, saisie de plans multiples avec reconstitution automatique des volumes, saisie automatique des ouvertures, saisie automatique d'éléments 3D complets (cercles, cylindres, cônes, plans, droites,...), saisie d'escaliers (droits, à vis, balancés).

En utilisant les fonctions de duplication, de déplacement, de symétrie, de tubage,... les relevés de façades sont réalisés en un temps record.

Métrieologie Industrielle

Laser 3D répond à tous les besoins de mesure industrielle, avec une précision maximale de 1/10^{ème} de millimètre.

Les éléments mesurés n'ont pas de limites de taille ou de matière.

Que ce soit pour la saisie d'un prototype en vue d'un retraitement informatique avant usinage, le contrôle de mesures de pièces ou d'ensembles soumis à des déformations (contrôle de la déformation d'une rame de TGV, contrôle d'usure d'un revêtement réfractaire,...), l'implantation d'éléments dans un site, la construction et la réparation navale, automobile, aéronautique, Laser 3D apporte une solution dédiée.

CONFIGURATION

Laser 3D nécessite seulement un Macintosh équipé d'un microprocesseur 68030 ou 68040, une taille mémoire minimum de 5Mo, un disque dur de 40 Mo. Laser 3D fonctionne sur tout type d'écran noir et blanc ou couleur.

CONNAITRE LASER 3D

Editeur

Soft'X

Garabel 2

28 av du 19 mars 1962, 78370 Plaisir

tél: (1) 30 54 16 94 fax: (1) 30 54 10 60

GÉOMETRES, TOPOGRAPHES...

C 15 4 X 4 DANGEL, UN VÉHICULE ADAPTÉ



Plutôt qu'un véritable "tout terrain", le C15 Dangel est un "tout chemins". Ce petit utilitaire léger à quatre roues motrices est européen. La solution simple mais non simpliste du 4 x 4 enclanchable est parfaitement adaptée à ce véhicule et à ses conditions d'utilisation.

L'adaptation du système 4 x 4 Dangel est possible sur toutes les versions de base de la C15 (sauf essence et familiale). La transmission du couple aux roues arrière s'effectue par l'intermédiaire de la boîte de transfert Dangel solidaire du groupe propulseur avant, qui reçoit le mouvement du pont avant.

Il existe des options "boîte courte" et "bloquage de différentiel arrière" qui augmentent les capacités de franchissement. Un blindage protège efficacement le dessous du groupe propulseur et la transmission.

Pour quitter la route goudronnée, ce qui est le lot de nombreuses professions, mais bien entendu et surtout celles de géomètres et topographes, le prix de cet utilitaire léger est très compétitif :

87 790 à 106 470 F H.T.

DÉTAILS TECHNIQUES

Motorisation

Diesel 1769 cm³ - 43,5 kW à 4600 - 11 m/daN à 2000 tr/mn

Transmission

- Boîte de vitesse pont avant :
 - 4 ou 5 rapports
- Reprise du mouvement :
 - Boîte de transfert DANGEL P012, reprise du mouvement sur pont avant pour enclenchement occasionnel du pont arrière. Commande pneumatique au tableau de bord, en marche
- Transmission arrière :
 - Transmission longitudinale 3 tronçons et 2 paliers
 - Pont arrière suspendu PC7 à glissement limité (différentiel blocable en option)
 - Transmissions latérales arrière à joints homocinétiques.

Avec pneumatiques : 155 R 13 développement 1760 m

Vitesse maximale : 136 km/h environ

Suspension - Direction - Freinage - Pneumatiques

- Sans changement

Valeurs de franchissement (à vide en mm)

- Garde au sol sous blindage moteur : 210
- Garde au sol sous pont arrière : 265
- Angle d'attaque : 40°
- Angle de fuite : 50°
- Rayon de passage : 3800
- Assiette véhicule + 20 mm

Protections de série

- Blindage complet sous motopropulseur
- Protection transmission longitudinale

Millésime 94 - Contact presse : Emmanuelle Dangel : 89.38.57.00

LES PRIX HENRI COURBOT 1993

Ce prix a pour but de distinguer tous les deux ans un ou des ouvrages de littérature scientifique, technique, d'organisation ou de gestion, visant les industries du bâtiment, des travaux publics, ou les industries ou services annexes, contribuant à la formation ou au perfectionnement des ingénieurs dans ces domaines.

Il a été décerné le 15 juin dernier par un jury composé de hautes personnalités du bâtiment, des travaux publics et de l'industrie, présidé par Louis Leprince-Ringuet, membre de l'Académie Française et de l'Académie des Sciences, qu'ont assisté en tant que vice-présidents, Bernard Cambournac, Président de la CCIP, et Philippe Levaux, Président du CEIFICI.



*De gauche à droite :
Mme H. COURBOT, Mr P. LEVAUX, Mr L. LEPRINCE-RINGUET, Mr A. BAILLY*

LE PRIX HENRI COURBOT :

Le pont en France avant le temps des ingénieurs

Par Jean Mesqui

Le fleuve, la rivière, séparent. L'eau est limite, frontière, impasse, elle semble dire : "au-delà tu n'iras pas". De l'autre côté, sur l'autre rive, est un autre monde, d'autres mœurs, d'autres lois. Le pont, lui, unit, réunit, tend la main d'une berge à l'autre. Pendant les guerres on se bat pour un pont, on tient un pont, on fait sauter un pont comme on fait sauter un lien et je n'épilouterai pas sur l'expression "couper les ponts".

Pour l'ingénieur des ponts, le pont est objet suprême. Son métier a valeur de symbole pour le savoir intellectuel et manuel, mais aussi pour l'art. La beauté des ponts, et ils sont tous beaux, est due aux mathématiques, me dit-on, et aux mathématiciens, ajouterai-je. Il n'est qu'à voir ces chef-d'œuvres d'harmonie et de proportions qui allient la formule et la forme dans une unité qui s'intègre à la musique des sphères de l'univers. Suis-je trop lyrique ? Alors écoutez ce que dit du pont le philosophe Heidegger : "... le pont rassemble, car il est l'élan qui donne un passage vers la présence des

divins.", cette métaphore en dit long, et l'auteur du livre ajoute : "... suprême rencontre entre le matériel et le spirituel, le vivant et l'immortel, le pont marque directement la relation de l'homme avec son environnement."

Mais si le propos de Jean Mesqui s'appuie sur cette assise philosophique, son ambition veut aussi englober les aspects financiers, juridiques, politiques, géographiques, sociologiques, techniques, du "pont" sur les deux millénaires qui précèdent l'époque où il devient l'œuvre d'ingénieurs.

Parler du "pont" sur ces deux mille ans est ambitieux, mais le pari est tenu et il est fascinant tant il montre à quel point le pont a été, à toutes les époques, présent dans la vie quotidienne, facteur d'unité ou de division, essentiel aussi dans son évolution technique ici très bien décrite.

Quand l'auteur quitte son livre, les ingénieurs vont prendre la place pour "faire" les ponts. Nous sommes en 1716. La science et la technique vont donner une réponse fonctionnelle à un besoin public, mais le pont va cesser d'être vécu, pour le profit d'une uniformisation et d'une conception centralisée du réseau routier, le pont y gagnera pour sa construction et son entretien, mais qu'il était beau le pont d'antan !

Un ouvrage intelligent et exhaustif qui réconcilie les maths et la littérature. Un bon choix du prix Henri Courbot.

(Picard - 82, rue Bonaparte - Paris 6ème. Avec le concours du CNRS).

Jack Biquand.

PRIX SPÉCIAL DU JURY :

Le gel et son action sur les sols et les fondations

Par Michel Dysli

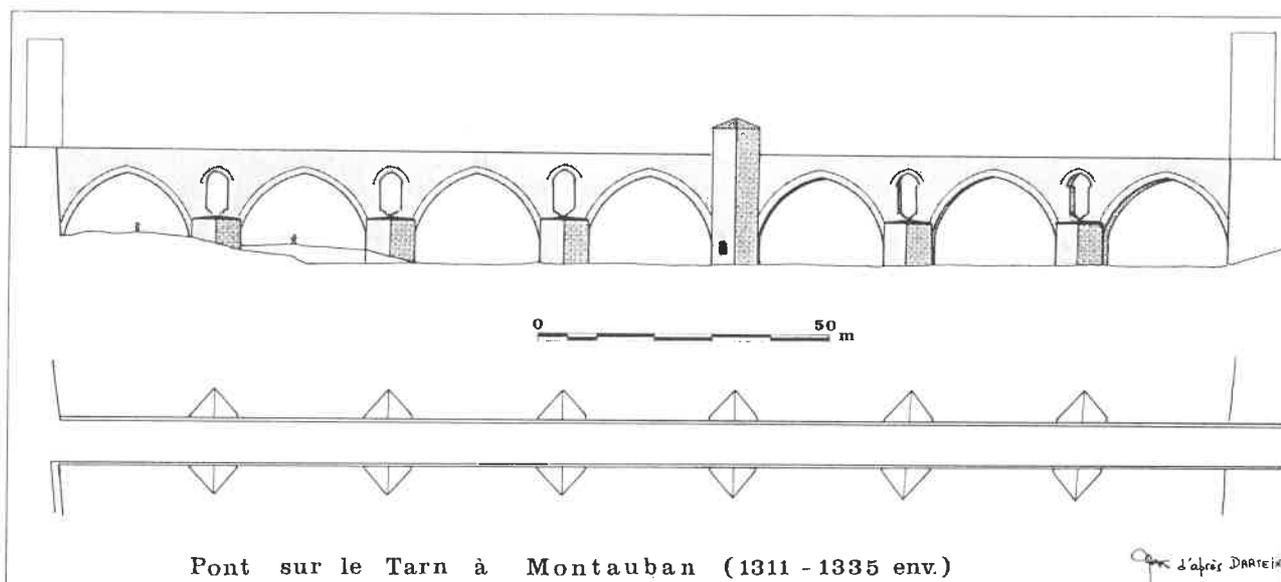
Pour le constructeur de route et en général pour l'ingénieur civil, le gel est un phénomène dont il faut tenir compte et que l'on peut dans certains cas utiliser. Sous les climats tempérés, l'ingénieur doit surtout le maîtriser : il doit concevoir ses constructions de manière à ce qu'elles résistent aussi bien au gel qu'au dégel des sols, le dégel étant le phénomène le plus critique.

Ce livre concerne essentiellement les régions du globe soumises à des climats tempérés à froids ; il n'est pas prévu pour les climats très froids de l'Arctique ou de l'Antarctique. Il donne tout d'abord, quelques éléments de climatologie, puis analyse les propriétés et les mécanismes des sols qui ont une relation avec le gel. L'action de ce dernier sur les sols est ensuite analysée en détail sur un plan pratique comme théorique. La fin de l'ouvrage est consacrée au dimensionnement au gel des constructions du génie civil et comprend de nombreux exemples.

Ce livre est, en grande partie, le fruit des recherches menées depuis de nombreuses années au Laboratoire de mécanique des sols de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne.

Notons que l'auteur est de nationalité Suisse, c'est la première fois que le prix Henri Courbot sort de nos frontières.

(Presses polytechniques et universitaires romandes. Lausanne).



ERRATA

Un certain nombre de coquilles et un oubli important se sont glissés dans l'article du numéro d'XYZ 55 "les arpenteurs romains, théorie et pratique" par Gérard Chouquer et François Favory :

- Page 35, colonne de gauche, 24ème ligne, lire : "Kardo" 28ème ligne, lire : "chorobate".
- Page 35, colonne de droite, 13ème ligne, lire : "cultellation ou mesure par ressauts".
- A partir de la 36ème ligne, lire :

"sont les plus nombreuses les centuries qui ont un module de 20 actus, soit : $20 \times 35,52 = 710,4$ m, mais en raison de la variabilité du pied romain on observe des centuries dont le module varie entre 703 et 710 m. Très souvent les parcelles sont carrées : modules 10×10 , 12×12 , 13×13 et surtout 20×20 puis 21×21 et 27×27 , mais il y a aussi ...".

- Page 37, colonne de gauche, 7ème et 8ème lignes, lire : "l'emploi de cartes topographiques et de photographies aériennes est occasionnelle, rarement...".

L'EXPLORATION DU SAHARA

Jean-Marc Durou - Terres d'aventure - (Actes Sud)



Vous traversez la Méditerranée, une petite mer, et vous vous trouvez à deux pas de l'immense barrière aride du Sahara, 8 600 000 km², plus de quinze fois la surface de l'hexagone !

Cet impressionnant désert fut un continent végétal humide où des civilisations purent s'épanouir. On peut fixer la date de la dernière période humide vers 2 500 avant J.C., c'était hier et, en maints endroits, les traces visibles de la vie, milliers d'objets lithiques, bifaces, pointes de flèches, puis peintures et gravures rupestres, permettent de faire revivre hommes et animaux. Certaines peintures de style égyptien très marqué prouvent une présence de la civilisation du Nil vers 4 000 avant J.C.

Ensuite, et c'est récent à l'échelle géologique, la désertification s'étend rendant inhospitalière la traversée de cette contrée. Un continent s'installe dans l'oubli, disparaît de la mémoire.

Les Grecs et les Romains fournissent les premiers écrits sur l'exploration du Sahara qui isole le monde méditerranéen de l'Afrique noire. C'est à Hérodote que nous devons le plus ancien récit d'expédition mais ses descriptions sont si peu précises qu'aucune des régions traversées ne peut être identifiée avec certitude. On suppose cependant que l'aventure contée, qui nous dit avoir rencontré le Nil (coulant d'Est en Ouest !), a plutôt joint le fleuve Niger.

Le récit d'Hérodote nous conduit chez le peuple des Garamantes, pionniers mythiques des routes sahariennes, peut-être ancêtres des Touaregs, qui montent des chars pour poursuivre leurs ennemis. On n'a jamais retrouvé de vestiges de ces chars mentionnés par l'historien antique, mais des peintures et gravures rupestres mises à jour sur des parois rocheuses du Sahara central corroborent ce récit. Selon Henri Lhote, l'auteur de "A la découverte des fresques du Tassili", il est possible de reconstituer la route millénaire des Garamantes allant de Syrte au fleuve Niger.

Un siècle avant notre ère la civilisation latine s'implante en force en Afrique du Nord, d'Est en Ouest. Elle s'établit en bord de mer mais s'étend jusqu'en bordure du Sahara, et c'est pour lutter contre des populations nomades venues du Sud que Rome organise des expéditions militaires relatées par Pline l'Ancien. Ptolémée relate l'expédition d'un certain Julius Maternus en 86, dans une région nommée Agysimba, pays des rhinocéros. Ces rhinocéros ont fortement impressionné les Romains qui frappent une monnaie à l'effigie de l'animal. Mais où se situe le territoire des rhinocéros ? Le massif atteint par Julius Maternus pourrait être l'Aïr en bordure du Ténéré au Niger où l'on a découvert de nombreux dessins de l'animal, ou bien l'Adrar des Iforas au Mali ... Les Romains ont-ils franchi le Sahara ? Nos connaissances sur cette époque sont très succinctes et la chute de Rome en 476 entraîne l'obscurité totale dans un Sahara qui se replie sur lui-même, planète inconnue sur la planète elle-même.

Pourtant c'est l'époque où Ptolémée, eh oui ! notre grand Ptolémée ! introduit en Egypte au début de notre ère l'animal-voiture qui va permettre aux grands groupes sahariens de se répartir sur leur emplacement actuel. Sur cette terre où l'on ne peut que marcher, où les animaux, qui meurent rapidement de soif et de fatigue, s'enfoncent dans un sable qui les retient prisonniers, le dromadaire va s'adapter et conquérir un royaume incontesté.



C'est l'arabe qui va le monter pour une conquête rapide et en profondeur de tout le Maghreb, il va chasser les habitants ancestraux, les Berbères qui, après une résistance acharnée, vont être refoulés dans les zones reculées et peu accessibles.

Jusqu'au XIV^{ème} siècle, les arabes vont conserver le monopole des découvertes en Afrique,

propageant l'islam sur l'ensemble du territoire.

Jusqu'au XVIII^{ème} siècle l'Afrique intérieure est inconnue des européens. Sur les cartes, à la place du grand désert, on dessine des éléphants et des singes. L'Europe ignore la décadence des empires soudanais qu'elle croit immensément riches et c'est paradoxalement parce qu'elle rêve des trésors et des villes mythiques comme Tombouctou, qu'elle va se lancer à la découverte d'un monde. Pour être honnête il faut signaler que les regards qui se tournent vers l'Afrique ne sont pas que mercantiles. Dans l'Europe du XVIII^{ème} siècle naît, avec le siècle des lumières, une nouvelle vision du monde, celle des philosophes, et l'édifice de l'esclavage construit en Afrique suscite les protestations qui vont permettre à l'occident d'intervenir au nom de la civilisation.



Touaregs au début du siècle.

Comme alors pour l'Europe, mais alors seulement, la grande découverte du Sahara. Les explorateurs, aventuriers et militaires, scientifiques et baroudeurs, vont se succéder dans une panoplie de noms célèbres, de hauts faits, d'aventures.

Tout est réuni pour que scientifiques, poètes et romanciers prêtent au Sahara d'étonnantes histoires

dont celle de l'Atlantide est la plus étrange. Mais ce que le XX^{ème} siècle va découvrir n'a rien d'un mythe et est un trésor inestimable : le Sahara est gorgé de pétrole et il est le plus grand musée d'art préhistorique du monde. Après les militaires ce sont les scientifiques qui fondent sur ce désert d'imagination. Le dernier en date, Théodore Monod, qui porte aujourd'hui allègrement ses 90 ans, raconte encore et vit encore ces magnifiques méharées.



Théodore Monod en 1950, en Mauritanie, avec un fonctionnaire du pays.

Grands espaces, étendues uniques, peuples à la fois guerriers et sages, le Sahara et les sahariens fascinent et suscitent la passion. La littérature s'y rattachant est abondante. La grande épopée semble aujourd'hui terminée et, comme l'exprime l'explorateur Philippe Diolé, "désormais l'exploration des espaces sahariens n'est-elle pas l'exploration de son propre espace intérieur ?".

Il est vrai que le désert invite à cette aventure angoissante mais d'une grande richesse.

De l'antiquité à aujourd'hui, des romains aux arabes puis aux européens, de Heinrich Barth à Théodore Monod, l'auteur, Jean-Marc Durou, guide saharien devenu photographe, nous livre la première histoire complète de l'exploration du Sahara. Les passionnés du désert et les historiens, aussi les poètes et les rêveurs, y trouveront nourriture abondante et savoureuse.

C'est sur une note un peu triste que conclut Jean-Marc Durou : "aujourd'hui les vrais explorateurs du Sahara restent les nomades que les européens, par méfiance ou préjugé, n'ont pas daigné intégrer à l'histoire."

Saint-Exupéry avait bien compris ces délaissés que sont les nomades du désert. Un jour qu'il venait d'atterrir près d'une caravane un maure s'approcha pour regarder son avion. Saint-Exupéry lui dit alors : "tu vois, avec cet avion, je parcours en deux heures ce que ta caravane parcourt en deux mois," et le maure de répondre : "mais alors qu'est ce que tu fais le reste du temps ?".

Oui, au fait !

Jack Biquand

(Editions Actes Sud. Collection Terres d'aventure. 375 pages, 160 francs).

L'ouvrage est préfacé par Théodore Monod. Jean-Marc Durou a publié, seul ou en collaboration, plusieurs albums, dont le fameux "Déserts" (AGEP 1988) avec Théodore Monod.

METRO-ART DANS LES METRO-POLES Art et architecture dans les métro-poles

par Marianne Ström

Art et philosophie, deux mots clés qui, au-delà des fonctions de véhicule, qualifient les réseaux souterrains de transports, les "métros". Plus de vingt milliards de personnes prennent chaque année le métro dans le monde, et ce phénomène est vraiment de société. Les rapports entre le dessus et le dessous sont mis à jour, si l'on peut dire. Entre les villes qui, dans ces souterrains, implantent leurs rêves ou leurs ambitions (métro de Moscou), et ceux qui reproduisent en sous-sol la vie du dessus avec ses quartiers, ses vitrines, ses rues (métro de Tokyo), ce sont les fantasmes et les désirs qui s'enterrent comme si, à l'abri du soleil, on pouvait, on osait, un art et une philosophie des souterrains de l'âme.

Sans doute l'auteur de cet ouvrage n'a pas voulu ou pas cru mettre ainsi en valeur une sorte de métaphysique du souterrain, mais le lecteur y décèle à chaque page les effluves de cette vie sociale hors de la vie sociale policée du dessus, avec des lois spécifiques, des spectacles, des musiques, des bidonvilles à clochards, des stations riches et des stations pauvres, des sales et des propres, des musées d'art et des architectures,

toute une expression populaire au long des couloirs sans fin comme les circonvolutions du cerveau.

Ils ont nom UNDERGROUND à Londres, SUBWAY à New-York, TRANSIT à Boston, TTC à Toronto, D à Pékin, METRO à Prague, Bruxelles et Paris, mais U-BAHN à Vienne, MARTA à Atlanta et VAL à Lille. Partout les constantes sont les mêmes, issues de la même race des enfants de la terre, des fils de la Planète. Partout ils sont univers des voyageurs, commerçants, agents, fraudeurs, vandales, vagabonds, pickpockets, musiciens, dragueurs, artistes, taggers, et si le propos de l'auteur est de nous en parler, c'est à travers l'image, les volumes et les formes, les couleurs. C'est ainsi qu'il faut lire ce livre qui est aussi historique, statistique, et explicatif de l'architecture et de l'art dans les métros.

Le texte de Marianne Ström est sobre, ses photos splendides et d'une grande maîtrise, à voir absolument. (Damase, éditeur, 61, rue de Varenne - Paris 6ème).

Jack Biquand



Aux Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées : TRAVAUX PUBLICS DE FRANCE Un siècle d'entrepreneurs et d'entreprises (1883/1992)

par Dominique Barjot

Professeur d'histoire contemporaine à l'université de Caen, Dominique Barjot a soutenu en 1989 une importante thèse de doctorat d'Etat portant sur la "Grande entreprise française de travaux publics (1883-1974) : contraintes et stratégies". C'est dans le prolongement de cette thèse qu'est écrit cet ouvrage sur une industrie qui est l'un des points forts de l'industrie nationale, avec son originalité qui découle largement de son histoire, d'où l'intérêt de se pencher sur cette dernière à partir de 1882, date de création du syndicat professionnel des entrepreneurs de travaux publics de France et d'Outre-Mer.

Du canal de Suez au tunnel sous la Manche, de la tour Eiffel à l'arche de la Défense, les hommes ont

conçu et réalisé de grands ouvrages partout dans le monde.

Magiciens de la terre, ils ont contribué au rayonnement du savoir-faire français, au développement économique et au mieux-être des habitants de nombreux pays.

Ce livre conte 110 ans de l'épopée des acteurs et des entreprises qu'ils ont su créer et développer.

Cet important ouvrage de grand format est superbement illustré. Il est préfacé par Philippe Levaux le président actuel du syndicat dont la création sert de départ au livre de Dominique Barjot.

(sous l'égide de la FNTP - relié toile sous jaquette).

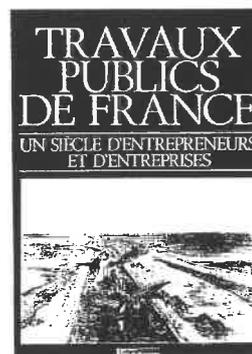




Photo LEICA

Que vous soyez un **professionnel**
de la

TOPOGRAPHIE

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

OU

Que vous soyez un **utilisateur** de la

TOPOGRAPHIE

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

Vous trouverez réunis au sein de **L'ASSOCIATION FRANÇAISE DE TOPOGRAPHIE** **(L'A.F.T.)**

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

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

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

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

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

**POUR ÊTRE INFORMÉ SUR LA VIE DE LA PROFESSION
ET SES TECHNIQUES**

ADHÉREZ :

A.F.T. 136 bis rue de Grenelle - 75700 Paris 07 SP

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

16) Quel est celui des quatre pays ci-après qui n'avait pas de frontière commune avec l'ex U.R.S.S. ?

- A) Iran B) Turquie
C) Suède D) Norvège

17) Quel est, en superficie, le plus grand département de la métropole ?

- A) La Gironde B) Les Landes
C) L'Aisne D) Le Loiret

18) Parmi les quatre sommets suivants, lequel est le plus élevé ?

- A) Le mont Aconcagua (Amérique du sud-Argentine)
B) Le mont Blanc (Europe-France)
C) Le mont Mc Kinley (USA-Alaska)
D) Le mont Kilimandjaro (Afrique-Tanzanie)

19) Quel est le nouveau nom de l'ancien Congo Belge ?

- A) Botswana B) Namibie
C) Rwanda D) Zaïre

20) Parmi les quatre pays ci-après, quel est celui auquel appartient le Groenland ?

- A) Canada B) Islande
C) Norvège D) Danemark

Langue française (10 questions)

21) Comment s'écrit correctement le nom de cette fleur ?

- A) Fuchia B) Fushia
C) Fuschia D) Fuchsia

22) Le hibou :

- A) Bouboule B) Ulule
C) Hue D) Coucoule

23) Le taureau gîte dans une :

- A) Etable B) Soue
C) Bouverie D) Torerie

24) Un collectionneur d'étiquettes de boîtes de fromages est un :

- A) Philumétiste B) Tegestophile
C) Tyrosémiophile D) Copocléphilliste

25) Une personne de race blanche née dans une ancienne colonie est :

- A) Un métis B) Un mulâtre
C) Un créole D) Un sang-mêlé

26) Un suroît est :

- A) Un chapeau de marin à large bord
B) Un pull-over en grosse laine
C) Un manteau court de marin en drap imperméabilisé
D) Un ciré de marin

27) Lequel de ces quatre mots est un genre masculin ?

- A) Octave B) Ephéméride
C) Acnée D) Apogée

28) Quelle est l'orthographe exacte du nom propre suivant ?

- A) KROUTCHEV B) KROUCHTCHEV
C) KHROUTCHEV D) KHROUCHTCHEV

29) Quelle est l'origine du mot "mousmé" ?

- A) Algérienne B) Turque
C) Indienne D) Japonaise

30) Un "Bachi-bouzouk" est un :

- A) Animal d'Afrique centrale
B) Poisson des mers du sud
C) Soldat turc du 19ème siècle
D) Terme injurieux sans signification précise

Littérature (5 questions)

31) Qui a écrit "La critique est aisée, mais l'art est difficile" ?

- A) Corneille B) Racine
C) Boileau D) Destouches

32) Quel est l'écrivain dont le nom était Emile Herzog ?

- A) Alain B) Maurois
C) Mauriac D) Malraux

33) La première et la dernière lettre du prénom de Lamartine sont :

- A) A et D B) C et S
C) A et E D) R et E

34) La Boétie était un écrivain contemporain de :

- A) Montaigne (16ème siècle)
B) Racine (17ème siècle)
C) Voltaire (18ème siècle)
D) Lamartine (19ème siècle)

35) Qui a écrit "Qui veut noyer son chien l'accuse de la rage" ?

- A) La Fontaine B) Molière
C) Boileau D) Racine

Musique (5 questions)

36) Arthur Honneger était un compositeur de nationalité :

- A) Française B) Belge
C) Suisse D) Luxembourgeoise

37) Quel opéra est l'adaptation du roman "La Dame aux camélias" ?

- A) La Bohème B) Lakmé
C) Madame Butterfly D) La Traviata

38) Que nom porte la 6ème symphonie de Beethoven ?

- A) La symphonie pastorale
B) La symphonie héroïque
C) La symphonie pathétique
D) L'apothéose de la danse

39) A qui doit-on l'opéra Pelléas et Mélisande ?

- A) Verdi B) Debussy
C) Saint-Saëns D) Rossini

40) Quel compositeur allemand fut naturalisé britannique ?

- A) Gluck B) Bruckner
C) Haendel D) Webern

Sciences (5 questions)

- 41) Un enneagone est un polygone ayant :
- A) 7 côtés B) 9 côtés
C) 11 côtés D) 13 côtés
- 42) Le laiton est un alliage :
- A) De cuivre et de zinc
B) De cuivre et d'aluminium
C) De cuivre et d'étain
D) De cuivre et de fer
- 43) En joaillerie, pour les diamants, le carat est une unité :
- A) De volume B) De masse
C) De brillance D) De transparence
- 44) Combien y-a-t-il de couleurs dans l'arc-en-ciel ?
- A) Cinq B) Six
C) Sept D) Huit
- 45) Combien y-a-t-il de zéros dans un trillion ?
- A) Neuf B) Douze
C) Quinze D) Dix-huit

Médecine (5 questions)

- 46) Le sang se forme dans :
- A) Les reins B) La rate
C) Le foie D) Les os plats
- 47) A l'âge de 10 ans, le cerveau a atteint quelle proportion par rapport au cerveau adulte ?
- A) 40% B) 60%
C) 80% D) 90%
- 48) Quel pays a le premier légalisé l'avortement ?
- A) Islande B) Danemark
C) Suède D) Hollande
- 49) De quelles infirmités était affligé Esope
- A) Sourd et muet B) Bossu et bègue
C) Borgne et sourd D) Borgne et manchot
- 50) De quelle maladie est mort Baudelaire ?
- A) Cancer B) Tuberculose
C) Syphilis D) Pneumonie

Sports (5 questions)

- 51) Quel est le joueur qui, le premier, a gagné trois fois de suite le tournoi de tennis de Wimbledon ?
- A) Fred Perry B) Henri Cochet
C) Ken Rosewall D) Mats Wilander
- 52) Dans quel sport s'est distingué William Nicklaus ?
- A) Tennis B) Base-ball
C) Natation D) Golf

- 53) Dans quel pays se déroule la course des Mille Miles ?
- A) Finlande B) Allemagne
C) Italie D) Angleterre

54) En automobile, le 200 km à l'heure a été dépassé pour la première fois en :

- A) 1909 B) 1927
C) 1932 D) 1937

55) La distance officielle actuelle de l'épreuve du marathon olympique est de 42,195 km. Elle correspond très exactement à la distance :

- A) Parcourue par Philippides, mort après 4 heures de course entre Marathon et Athènes, pour annoncer aux Grecs leur victoire
B) Courue aux premiers jeux olympiques d'Athènes en 1896
C) Arrêté, en 1900, pour normalisation, par le Comité International Olympique (C.I.O.)
D) Séparant le château de Windsor (départ de la course, sous le balcon du Roi d'Angleterre) du stade de White City à Londres (arrivée de la course), où eurent lieu les jeux olympiques de 1908

Questions diverses (5 questions)

56) Parmi ces quatre personnalités, laquelle n'est pas née en Suède ?

- A) Gréta Garbo B) Alfred Nobel
C) Ursula Andress D) Junie Astor

57) Combien y-a-t-il de signes du Zodiaque ?

- A) Dix B) Onze
C) Douze D) Treize

58) En quelle langue prêchait le Christ ?

- A) En Hébreu B) En Araméen
C) En Chaldéen D) En Syriaque

59) L'obélisque de Louqsor, situé sur la Place de la Concorde à Paris :

- A) A été ramené par Bonaparte après sa campagne d'Égypte
B) A été vendu à Louis XVI en 1916 par le sultan Mahmoud
C) Est un don, en 1836, de Méhemet Ali à Louis Philippe
D) A été acheté par Napoléon III en 1851

60) Les habitants de Bourges (Cher) se nomment les :

- A) Bourgeois B) Bourginnaïes
C) Bourgesiens D) Berruyers

Les réponses aux questions de ce test sont données à la fin du présent bulletin.

RÉCRÉATIONS MATHÉMATIQUES

par Michel Sautreau

Problèmes N° 3/93. Le casse tête logique

Les problèmes faisant appel au seul raisonnement logique ont la faveur de nombreux amateurs de casse-tête. En voici un qui est un modèle du genre et qui vous demandera beaucoup de patience si du moins vous ne procédez pas avec méthode.

Cinq anciens camarades d'enfance ont décidé de passer leurs vacances au même endroit. A cet effet, ils ont loué cinq villas **contiguës** au bord de la mer, lesquelles ont, chacune, **une couleur différente**.

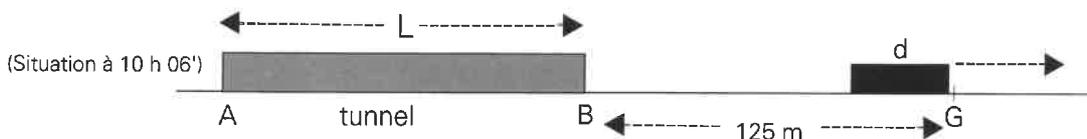
Ces cinq amis exercent aujourd'hui des **professions différentes** : l'un est géomètre-expert, l'autre est urbaniste, le troisième gère un cabinet de photogrammétrie, le quatrième est dessinateur quant au dernier, il est informaticien. En temps normal, chacun réside dans une ville différente. Ils ont en outre, chacun, une boisson favorite différente et possèdent, chacun un animal différent.

Sachant que :

- 1) Le Parisien a loué la villa rouge,
- 2) Le Lyonnais possède un chien,
- 3) Le Toulousain est géomètre-expert,
- 4) Le Marseillais boit du thé,
- 5) Le Bordelais a loué la première villa à gauche quand, de la mer, on regarde les cinq villas,
- 6) La villa verte est immédiatement à droite de la villa blanche dans les mêmes conditions d'observation que ci-dessus,
- 7) Celui qui a loué la villa verte voit du café,
- 8) L'urbaniste élève un lapin,
- 9) L'informaticien a loué la villa jaune,
- 10) Le locataire de la villa du milieu boit du lait,
- 11) Le photogrammètre a loué la villa voisine de celle où sera l'hamster,
- 12) Le Bordelais a loué la villa voisine de la villa marron,
- 13) Le dessinateur boit de la vodka,
- 14) L'informaticien a loué la villa voisine de celle où sera le serin.

Trouvez qui élève des poissons rouges et qui boit du scotch.

SOLUTION DU PROBLÈME N° 2/93



Désignons par :

- d , la longueur du train,
- v , sa vitesse (constante),
- t , le temps (en secondes) mis par la tête du train pour aller de la sortie du tunnel à la gare G, c'est-à-dire pour parcourir 125 mètres.

Les données du problème permettent d'écrire :

- (1) $d = 20 v$,
- (2) $L + 125 = 360 v$,
- (3) $125 - d = (t - 20) v \Rightarrow$ (3 bis) $125 = t.v$.

La première équation exprime qu'il s'écoule 20 secondes entre les instants où la tête et la queue du train franchissent l'entrée A du tunnel. La deuxième traduit le fait que 6 minutes (soit 360 secondes) séparent les passages de la tête du train en A et en G respectivement. L'équation (3) exprime que la queue du train -qui, tout comme A, passe en B 20 secondes après que la tête y soit passée- met $(t - 20)$ secondes pour parcourir la distance $(125 - d)$ séparant le point B de la queue du train quand sa tête est en G.

Pendant ce temps $(t - 20)$ secondes, le son a parcouru la longueur L du tunnel puisque le géomètre entend le coup de sifflet de son aide à l'instant même où la tête du train passe en G (10 h 06 m 00 sec). Donc :

$$(4) L = 335 (t - 20)$$

Les équations (2), (3 bis) et (4) résolvent le problème.

On en tire :

$$335 t^2 - 6575 t - 45.000 = 0,$$

équation du second degré qui n'a qu'une racine positive : $t = 25$ sec.

On en déduit que la longueur du tunnel est égale à 1675 mètres (et que la vitesse du train est de 5 mètres par seconde, soit 18 km/h).

LES BONNES RECETTES D'XYZ

par Anita Sautreau

COQUILLES SAINT-JACQUES EN CHAUD-FROID AUX EPINARDS

Pour 4 personnes :

- 12 noix de Saint-Jacques et 8 coraux décortiqués et nettoyés,
- 500 grammes d'épinard en branches,
- 200 grammes de beurre ramolli en parcelles à température de la pièce,
- 2 décilitres de vin blanc,
- 50 grammes d'échalotes hachées fin
- sel, poivre, thym, laurier, cerfeuil.

Préparation :

- ▲ Epluchez et lavez les épinards. Ebouillantez-les dans un peu d'eau chaude. Egouttez et pressez. Mixez-les afin d'obtenir une purée très fine et réservez au chaud.
- ▲ Faites bouillir une casserole d'eau chaude avec sel, poivre, thym et laurier. Plongez-y les Saint-Jacques quelques secondes. Cela suffit pour les cuire. Egouttez et réservez au chaud.
- ▲ Mettez à réduire les échalotes avec le vin blanc dans une casserole à fond épais. Puis, quand le vin est quasiment absorbé, incorporez, hors du feu, le beurre au fouet à la main ou électrique (vitesse réduite). Assaisonnez de sel et de poivre et passez cette sauce dans un chinois.

Présentation :

- ▲ Dans un plat très chaud, nappez légèrement le fond avec cette sauce en en conservant une partie. Disposez les noix de Saint-Jacques sur le tour de l'assiette et les coraux au centre puis versez sur l'ensemble le reste de la sauce.
- ▲ A l'aide d'une petite cuiller, posez un peu d'épinard sur les coquilles. Décorez avec quelques pluches de cerfeuil.
- ▲ Servez immédiatement.

REPONSES AU TEST DE CONNAISSANCES GENERALES

Histoire

1 : A) 2 : A) 3 : C) 4 : A) 5 : C)
6 : B) 7 : D) 8 : C) 9 : D) 10 : D)

Géographie

11 : B) 12 : B) 13 : C) 14 : D) 15 : B)
16 : C) 17 : A) 18 : A) 19 : D) 20 : D)

Langue Française

21 : D) 22 : A) 23 : C) 24 : C) 25 : C)
26 : A) 27 : D) 28 : D) 29 : D) 30 : C)

Littérature

31 : D) 32 : B) 33 : C) 34 : A) 35 : B)

Musique

36 : C) 37 : D) 38 : A) 39 : B) 40 : C)

Sciences

41 : B) 42 : A) 43 : B) 44 : C) 45 : D)

Médecine

46 : D) 47 : D) 48 : A) 49 : B) 50 : C)

Sports

51 : A) 52 : D) 53 : C) 54 : A) 55 : D)

Questions diverses

56 : C) 57 : C) 58 : B) 59 : C) 60 : D)

REPERTOIRE DES ANNONCEURS - N° 56

SOKKISHA 1 ^{re} couv.	DIEUTEGARD..... 9
FAYNOT 2 ^e couv.	E.S.T..... 29
SLOM..... 3 ^e couv.	GEOMETRI-INFORM..... 41
LEICA..... 4 ^e couv.	GEOTRONICS..... 42/43
AERIAL..... 2/21	IETI..... 7/10
AFI (CEGI)..... 32	INBC..... 28
AFT..... 78	PENTAX..... 6
ARISTO..... 44	RDC SYSTEM..... 22
ASHTECH..... 53	ROLLEIMETRIC..... 34
BORNES ET BALISES..... 38	SETAM INFORM..... 60
BURNAT..... 37	SINTEGRA..... 39
COLLINET..... 22	TRANSEL..... 29
DIAL-INFORM..... 56	