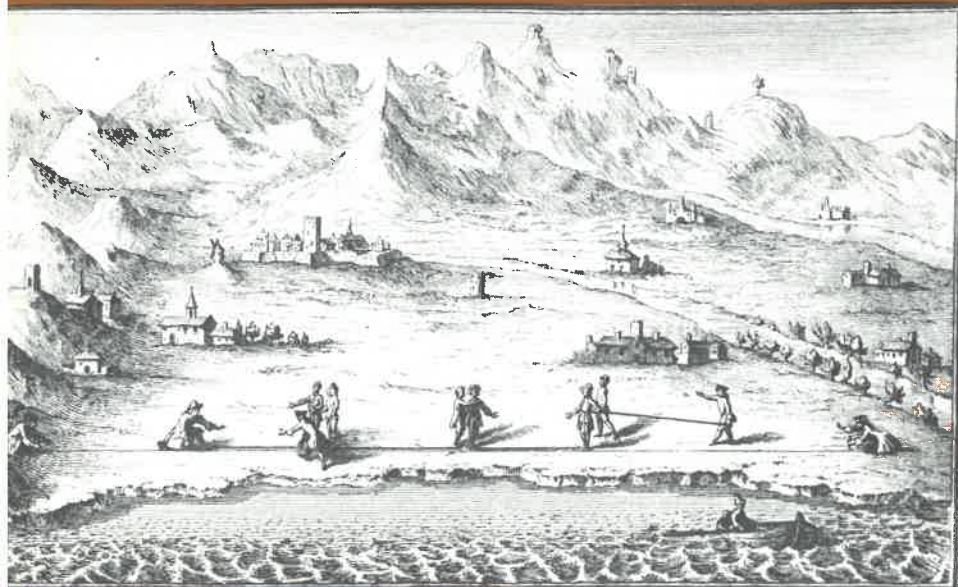


XVZ Association Française de Topographie



Mesure de base aux XVII^e et XVIII^e siècles.
(Extrait de l'Histoire de l'Académie Royale
des Sciences, suite 1740).

Schéma général de la méridienne de Cassini.
(Grandeur et Figure de la Terre, Académie Royale
des Sciences, suite 1718).

RENCONTRE AFT di 17 et vendredi 18 mars 1988 UTILISATION ET EVOLUTION S TECHNIQUES SPATIALES DE POSITIONNEMENT"

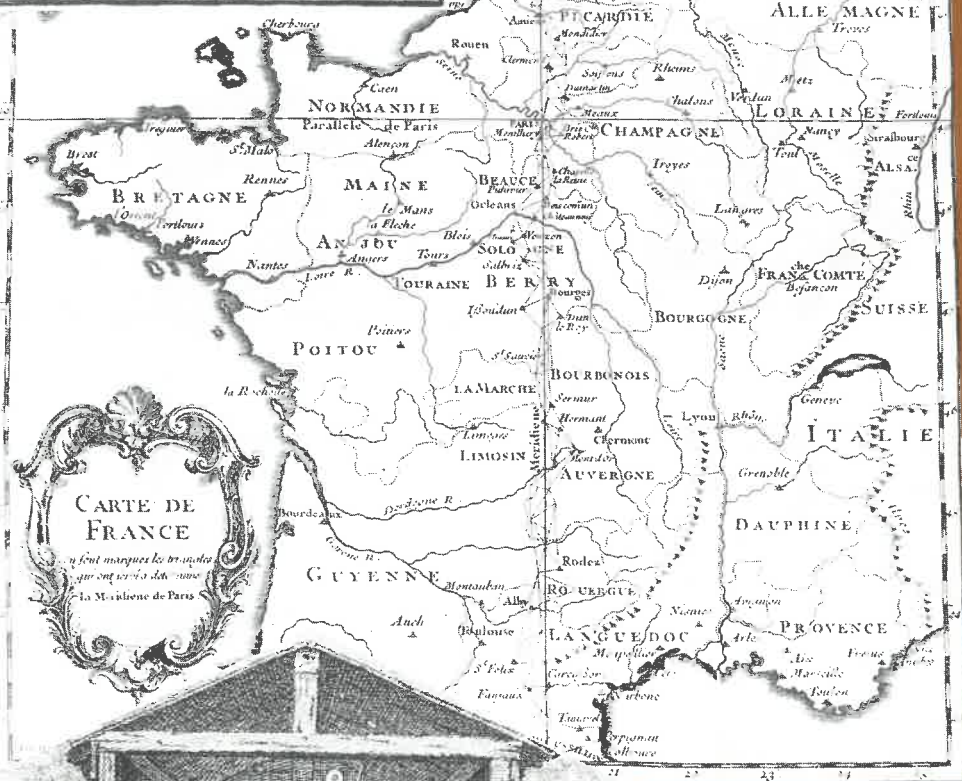
entre de conférence PANTHEON
rue de l'Estrapade, 75005 PARIS
(page 79)

MAI-JUIN 1988

Parution et présentation
du livre

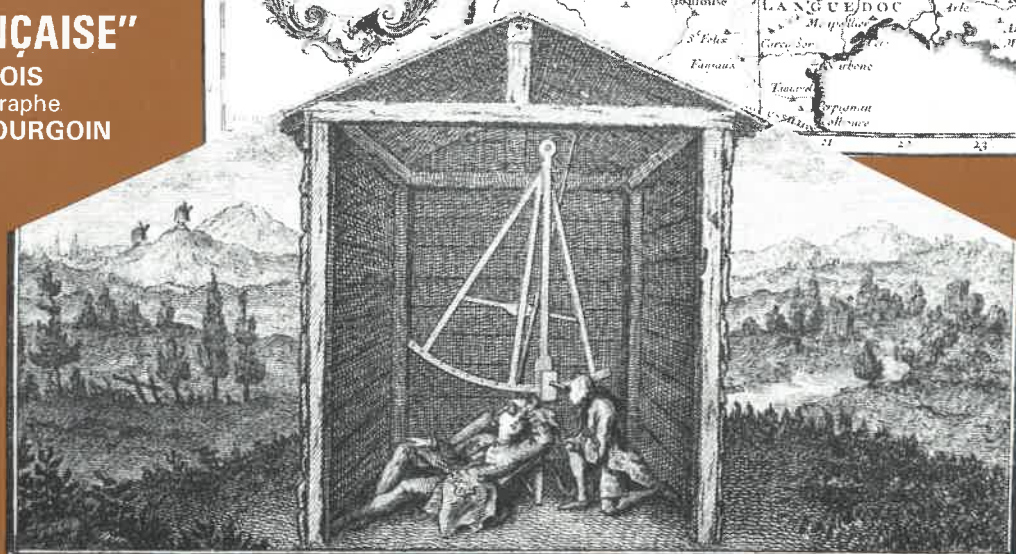
"TROIS CENTS ANS GEODESIE FRANÇAISE"

de M. J.-J. LEVALLOIS
Ingénieur Général Géographe
de MM. BOUCHER, BOURGOIN
(page 1)



ervations au secteur.
xtrait de l'Histoire
l'Académie Royale
Sciences, suite 1740).

9^e année
ISSN 0290-9057
N° 32-33
embre-Décembre 1987
Prix : 95 F





**Une réputation mondiale
faite de qualité et de prix**



LASER DE ROTATION INFRAROUGE

Portée : 165 mètres.
Précision jusqu'à 30 m : ± 1 mm.
Horizontalisation automatique
par pendule électronique.
Boîtier étanche à l'eau. Batterie incor-
porée, autonomie : 10 heures.
Adaptable sur tout trépied.



THEO 080 A

Théodolite de chantier. Lecteurs
angulaires optiques simples,
clairs, précis.
1 c gon à l'estime.
Sur option : nivelle de nivel-
lement, plomb optique



THEO 020 B

Théodolite pour génie civil et
ingénierie. Lecture directe sur
échelle au centigrade $\pm 3''$.

THEO 015 B (non illustré)
Modèle avec lecteur numérique
au milligrade ($\pm 2,5''$).



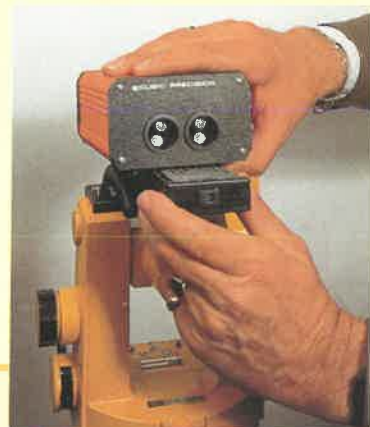
NI 020 A OW

Niveau automatique universel
pour ingénieurs.
Erreur moyenne/km de nivel-
lement double ± 2 mm.
Sur option : micromètre optique
amovible à faces plans parallè-
les pour mire Invar 10 mm.
Dispositif d'éclairage.
Accessoires spéciaux pour
l'industrie.



DM 81 1600

Mini-télémètre avec fonction de saisie de
données intégrales et d'un clavier opéra-
tionnel incorporé de 12 touches.
Portée de 750 à 1610 mètres.



Adaptable sur tous les théodolites

Dimensions : 88 x 100 x 178
Poids : 1,5 kg - batterie rechargeable
comprise.
Protection interne du circuit.
100 % étanche.
Fourni avec adaptateur pour Wild
et Zeiss.
Consommation d'énergie la plus faible
de l'industrie.
Autonomie de travail 8 heures.
Moyenne automatique des mesures.
Corrections ATM.



Livré avec sac de protection molle-
tonné, portable, notice d'utilisation -
batterie rechargeable ainsi que
le chargeur.
Sur option : batterie solaire.



Agent général pour la France VEB Carl Zeiss Jena

**COMPAGNIE
GÉNÉRALE DE
PHYSIQUE**

Assistance-Maintenance

Couverture



Quelques-unes des nombreuses iconographies du livre "Trois cents ans de Géodésie Française", écrit par J.-J. LEVALLOIS, en collaboration avec MM. BOUCHER et BOURGOIN.

Parution en mai/juin 1988 de cet ouvrage, d'environ 350 pages, enrichi d'illustrations anciennes, gravures, plans, cartes...

C'est un ouvrage que tout topographe devra posséder (livre diffusé par l'AFT).

Editorial

Rendez-vous à PARIS, les 17 et 18 mars 1988, à CANNES les 21 et 22 octobre 1988, pour les prochaines rencontres AFT.

Pour répondre à la demande de nos lecteurs, nous vous indiquons les dates des prochaines parutions d'XYZ : n° 34, février 1988 ; n° 35, avril 1988 ; n° 36, juillet 88 ; n° 37 octobre 1988.

TRIMESTRIEL

Le numéro : 95 F
L'abonnement d'un an
(4 numéros) : 370 F

Secrétariat de l'AFT
et Rédaction XYZ

140, rue de Grenelle,
75700 PARIS
Tél. : (1) 45.50.34.95
poste 660

Ouverts les mardi et vendredi
de 10 h à 12 h

COMITE DE REDACTION
RAPPORTEUR

André BAILLY
Ingénieur ETP

MEMBRES

Jean COMBE
Ingénieur ESGT
Guy DUCHER
Ingénieur Général Géographe
Jean-Jacques LEVALLOIS
Ingénieur Général Géographe
Jean PUYCOUYOUL
Ingénieur E.P.
Roger SCHAFFNER
Géomètre DPLG
Bernard SCHRUMPF
Ingénieur en Chef
de l'Armement
Robert VINCENT
Ingénieur E.C.P.

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

André BAILLY

IMPRIMERIE MODERNE

U.S.H.A.
AURILLAC 15001
Tél. : 71.63.44.60

L'Association Française de Topographie n'est pas responsable des opinions émises dans les conférences qu'elle organise ou dans les articles qu'elle publie.

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

sommaire

Honneur aux dames	3-4
Une nouvelle loi définit la profession de Géomètre-Expert et délimite les activités qui sont de leur attribution exclusive	6-7-8
Trois cents ans de Géodésie Française, par J.-J. LEVALLOIS	
Chapitre XV	11-32
Chapitre XVI	35-54
Système de symboles cohérents en topographie. Lexique topographique	57-66
Mesures et géométrie au XII ^e siècle selon les auteurs, par Danielle LECOQ	65-76
La vie de l'Association	77-79
Actualités AFT	80-84
Récréations mathématiques	86
Annonces	87
Le coin cuisine d'XYZ - Mots croisés	88

LA SOLUTION



ZEISS ELTA 3/4 E

Le tachéomètre électronique pour tous les travaux

- Microprocesseur pour la commande des opérations de mesure et de calcul.
- Interface pour transfert.
- Mesure des angles et des distances avec programmes de calcul spécifiques.
- Goniométrie avec variantes suivant les différentes utilisations.

FABRIQUÉ EN R.F.A.

- Commande du microprocesseur par seulement 3 touches.
- Libre choix du sens de fonctionnement.
- Logiciels spécifiques pour le lever et l'implantation.
- Guidage permanent pour l'emploi des logiciels.



IMPORTATEUR EXCLUSIF POUR LA FRANCE

CHASSE-SUR-RHONE 38670 - LE PONT Equipements - Rue Copernic - B.P. 11
Tél. 78.73.02.88 - Télex : 380.034 F

NEUILLY 92200 - LE PONT Equipements - 57, avenue Charles-de-Gaulle
Tél. (1) 46.24.38.64

GRENOBLE 38100 - TOPO DESSIN - 51, boulevard Maréchal-Foch
Tél. 76.96.67.74



PHOTO ACSM

Honneur aux dames !

Au mois d'avril de cette année 1987, Mme Alberta Auringer-Wood a été nommée Présidente de l'American Congress on Surveying and Mapping (ACSM), lors de la Convention de Printemps tenue à Baltimore. Cette distinction, survenant dans un domaine professionnel traditionnellement réservé aux hommes, vaut la peine d'être relevée et suscite même un certain élan d'admiration et de sympathie à l'égard de l'heureuse élue.

J'ai tenu à exprimer ces sentiments par la très officielle lettre ouverte ci-après.

Madame la Présidente,

Le 1^{er} avril de cette année vous avez été investie de la plus haute fonction de l'ACSM, comptant plus de 10 000 membres. Ceci est en soi une remarquable performance et le fait que vous soyez du sexe dit faible constitue, en plus, une grande première mondiale, un événement important dans l'histoire de notre profession.

Je pense exprimer les sentiments réels des membres de notre Association en vous adressant en leur nom les plus sincères et chaleureuses félicitations.

Cette distinction vous la méritez amplement. Après des études secondaires à Lapeer (Michigan) où vous viviez, vous avez continué à l'Université dudit Etat et vous en êtes finalement diplômée avec : une licence en géographie, des maîtrises en bibliothéconomie et de géographie, un DES en histoire de la cartographie...

Vous êtes actuellement carto-thécaire de la Memorial University de Terre-Neuve à St-John, après avoir exercé des fonctions dirigeantes à la World Bank à Washington, aux Universités de l'Idaho et du Michigan, ainsi qu'à la Bibliothèque du Congrès.

A l'ACSM vous avez gravi tous les échelons dans l'activité de cette importante et honorable association, en servant successivement comme directeur, vice-président et président-élu ; tout en étant présidente et membre actif de différents comités et commissions, notamment en matière de cartographie.

Enfin, vous êtes membre éminent de l'Association Canadienne de Cartographie, de l'Association Encyclopédique Américaine, de l'Association des Cartographes Américains, de la Société pour l'Histoire des Découvertes... et vous êtes l'auteur d'un livre sur "Détroit et ses environs avant 1900", ainsi que de nombreuses conférences et études relatives à votre spécialité.

Vos allocutions et réponses à certaines questions nous offrent une vision lucide de l'avenir de notre vaste profession et des choix qui se présentent à elle. C'est ainsi que vous estimez :

- Que la plus importante orientation à prendre dans le grand enjeu et la splendide opportunité qui s'offre à tous les adeptes de la profession est constituée par la mise en œuvre d'un Cadastre Polyvalent. Que si nous ne profitons pas de cette occasion de progrès que cela représente, ce seront les autres, de disciplines voisines, qui s'en chargeront et nous serions éliminés définitivement.

- Qu'un autre secteur de grande potentialité concerne le développement des équipements électroniques et autres systèmes utilisables en matière de topographie et de cartographie. Ce qui vous fait penser que la profession continuera de croître, probablement plus encore dans les branches utilisant les technologies numériques et autres récentes. Dans cet ordre d'idées vous ne croyez

pas que, par le fait de changer la nature de notre travail, la profession en sera amoindrie.

- Que par les programmes d'éducation, les activités éducatives associées aux congrès, colloques et ateliers spécialisés, nous pouvons jouer un grand rôle en aidant ainsi les gens à acquérir de solides éléments de base dans leur spécialité et à continuer leur formation par la suite, et que, dans cette perspective, une collaboration avec les instances gouvernementales, les professionnels privés et établissements d'enseignement est absolument nécessaire.

Vos autres priorités concernent essentiellement les actions à entreprendre en vue de conforter le rôle de l'ACSM dans la promotion et la défense du bon renom de la profession dans son ensemble. A cet effet vous préconisez la plus étroite entente et coopération assorties d'activités conjointes avec tous les organismes professionnels spécialisés en photogrammétrie, télédétection, topométrie foncière ou industrielle, géographie, cartographie, information géographique urbaine et rurale, en éducation ainsi qu'avec les groupements d'étudiants. Ceci d'autant plus que, chez vous, les adhérents à tous ces organismes sont, pour une grande partie, également membres de votre association.

Il serait trop long et fastidieux d'énumérer ici vos sages propositions sur l'organisation interne de l'ACSM et sur la stratégie que vous conseillez d'adopter pour assurer son succès, mais soyez assurée que j'en prends bonne note pour essayer de les appliquer selon nos structures ; pour la bonne raison que je partage entièrement votre point de vue sur tout ce qui précède.

En tout état de cause, votre passage au sommet de l'ACSM constitue une nouvelle ouverture et il semble tout naturel que nous en tirions tous le plus grand avantage pour l'avenir. La garantie en est donnée par votre profession de foi que je ne puis m'empêcher de livrer telle quelle à mes collègues.

"La perspective que j'apporte à la position de président de l'ACSM est affectée par ma formation de base, ma pratique du métier et le fait d'être une femme. J'estime que l'ACSM et ses membres sont à féliciter pour leur encouragement des femmes à la topographie et la cartographie. La reconnaissance qui m'a été donnée d'être la première femme présidente de l'ACSM me fait éprouver un encore plus grand besoin et le désir de faire le meilleur travail possible pour l'ACSM et ses membres en accomplissant les devoirs de président".

Le seul regret que l'on puisse avoir à la suite de cette déclaration, c'est que votre mandat ne dure qu'une année et qu'il n'est pas renouvelable. Nous espérons néanmoins et fermement que ce court laps de temps vous suffira pour ouvrir une ère nouvelle et donner une orientation originale aux actions, déjà bien menées par vos prédé-

cesseurs, de l'ACSM et, par-delà à celles des autres associations de par le monde.

Dans ce même ordre d'idées, je me permets de rendre également hommage à toutes les femmes de votre état-major, en l'occurrence Mesdames Lindgren, O'Donnel et Clawson, auxquelles s'ajoutent maintenant aussi Mesdames Joan Martin, Directeur des Communications et Nancy Parke, Directeur des Affaires Gouvernementales pour l'ACSM et l'ASPRS, sans oublier Mesdames Dottie Hoopes, Katie Tamashiro, Lee Dinnin et Susan Jensen des Sections Affiliées à l'ACSM. Vous toutes constituez indubitablement un remarquable exemple de réussite professionnelle, de dynamisme et d'enthousiasme que vous envieront certainement beaucoup de nos collègues et surtout, je le souhaite ardemment, nos consœurs présentes et à venir. A ceux et celles qui avanceront l'argument

de ce qu'en Amérique tout est possible, je rétorquerai que : "Impossible n'est pas français... voire Européen !"

Voyez-vous, Madame et Chère Collègue, les efforts que vous avez fournis et que vous déploierez encore profitent certainement à l'ACSM et à ses membres, mais leurs "effets" se feront sentir partout et ils serviront à beaucoup d'entre nous et à la profession tout entière.

C'est pour cela que tous nos vœux vous accompagnent pour la réussite de tous les projets que vous concevrez en ce sens.

En vous souhaitant donc bonne chance, et à travers vous à l'ACSM, je vous prie de croire, chère Madame, en nos sentiments les plus cordiaux.

Roger SCHAFFNER



Alberta Auringer Wood
ACSM President



Mary Clawson
1987 Spring Convention Director



Patricia Caldwell Lindgren
ACSM Director



Maggie O'Donnell
NSPS Secretary-Treasurer

Photos ASCM

VENTE - LOCATION - REPARATION



INSTRUMENTS

FOURNITURES
TOPO-DESSIN

TOUTES MARQUES
AU MEILLEUR PRIX

ETS A. THOMAS

12, rue Friant, 75014 PARIS
Tél. : (1) 45.43.55.25
Télex : TOPODIF 203590

DEMANDEZ LE NOUVEAU CATALOGUE **TOPOCENTER**

MILLESIME 88...
...ET PARTICIPEZ A
NOTRE GRAND CONCOURS.

1^{ER} PRIX UN LEICA R5.

Envoyez le coupon-réponse
ci-dessous à votre TOPO CENTER

Topo Center Bordeaux

3, quai des Chartrons, 33000 Bordeaux.
Tél. : 56.52.56.15.

Topo Center Clermont

4, rue de la Malodière, 63400 Chamalières.
Tél. : 73.36.53.37.

Topo Center Lyon

108, rue Hénon, 69004 Lyon. Tél. : 78.30.17.69.

Topo Center Marseille

215, rue du Rouet, 13008 Marseille.
Tél. : 91.79.41.41.

Topo Center Nancy

Parc d'activités de Brabois, rue du Bois-de-la-Champelle,
54500 Vandœuvre. Tél. 83.27.03.61.

Topo Center Nantes

Ets Collinet, 21 bis, rue Augustin-Mouillé, 44400 Nantes-
Rezé. Tél. : 40.75.73.28.

Topo Center Paris

25, boulevard Richard-Lenoir, 75011 Paris.
Tél. : (1) 43.38.31.75.

Topo Center Rouen

12, rue d'Harcourt, Front de Seine, 76000 Rouen.
Tél. : 35.70.84.80.

Topo Center Strasbourg

20, rue des Champs, Eckbolsheim, 67200 Strasbourg.
Tél. : 88.78.65.22.

Topo Center Toulouse

Topo Bail Occitane, 24, rue Jean-Chaptal. 31400 Toulouse.
Tél. 61.54.60.50.

Ets Catry

38, rue Faiderbe, 59800 Lille.
Tél. : 20.06.81.13.



Jouez aussi au TOPO LOTO

Conservez soigneusement votre catalogue TOPO CENTER 1988.
Le numéro au bas de la dernière page sera peut-être un des
numéros gagnants des tirages au sort effectués quatre fois
par an dans tous les TOPO CENTER.

Nom : Fonction :

Société : Adresse :

Code postal : Ville :

Date et Signature :

Désire recevoir le catalogue TOPO CENTER 88
et le bulletin réponse au jeu-concours du
CATALOGUE TOPO CENTER.

Une nouvelle loi définit la profession de Géomètre-Expert et délimite les activités qui sont de leur attribution exclusive

Le Journal Officiel de la République Française du 16 décembre 1987 publie le texte de loi 87-998 du 15 décembre 1987.

Cette loi modifie à nouveau la loi 46-942 du 7 mai 1946 instituant l'ordre des Géomètres-Experts. Une première modification était intervenue par la loi 85-1408 du 30 décembre 1985 et nous en avons rendu compte dans XYZ n° 25 daté de décembre 1985.

Cette loi, après avoir été approuvée par le Sénat le 23 octobre 1987, a été présentée à l'Assemblée Nationale par son rapporteur le 2 décembre 1987 dans les termes suivants qui résument bien la situation :

“Approuvant la philosophie générale d'un texte dont l'objectif est de mettre un terme définitif au conflit qui oppose depuis plus de quarante ans géomètres-experts et topographes, la Haute Assemblée a retenu les principes que nous avons posés.

Premier principe : apporter une garantie de compétence au propriétaire et futur propriétaire pour la délimitation de ses biens. C'est désormais sur un champ d'activités clairement défini — les travaux de délimitation de la propriété foncière — que porte le monopole des géomètres-experts ; ce monopole est, en outre, assorti de sanctions pénales qui le garantissent effectivement.

Deuxième principe : laisser jouer la libre concurrence entre géomètres-experts, topographes, experts agricoles et fonciers et experts fonciers pour toutes les autres activités, dès lors

qu'elles ne touchent pas à la délimitation de la propriété foncière.

Troisième partie : permettre, pendant une période transitoire, et sous réserve d'une certaine compétence et expérience, à d'autres professionnels de s'inscrire au tableau de l'ordre des géomètres-experts et d'exercer les mêmes activités qu'eux”.

Et M. Pierre Méhaignerie, Ministre de l'Équipement, du Logement, de l'Aménagement du Territoire et des Transports, s'est exprimé ainsi avant le vote des députés :

“Je me réjouis d'abord que, grâce à ce texte, un accord ait pu intervenir entre les professionnels quant au champ respectif de leurs compétences.

Cet accord est, par ailleurs, conforme à une vision saine de l'économie puisqu'il limite le monopole des géomètres-experts à ce qui est le plus important pour le consommateur, c'est-à-dire la délimitation des biens fonciers, activité où l'exigence de professionnalisme et de réglementation est la plus grande. A contrario, il favorise la concurrence entre professionnels pour toutes les prestations qui n'entrent pas dans le champ de ce monopole. Tel est bien le centre du débat : il faut à la fois favoriser l'ouverture à la concurrence et assurer la protection du monopole dans le seul secteur où il est nécessaire, celui de la délimitation des biens fonciers”.

Nous vous présentons ci-après le texte de la nouvelle loi et les communiqués de presse de l'Ordre des Géomètres-Experts et de la Chambre Syndicale des Géomètres-Experts Topographes.

Loi n° 87-998 du 15 décembre 1987 visant à garantir le libre exercice de la profession de géomètre-expert

L'Assemblée Nationale et le Sénat ont adopté,

Le Président de la République promulgue la loi dont la teneur suit :

Art. 1^{er} - L'article 1^{er} de la loi n° 46-942 du 7 mai 1946 instituant l'ordre des géomètres-experts est ainsi rédigé :

“Art. 1^{er} - Le géomètre-expert est un technicien exerçant une profession libérale qui, en son propre nom et sous sa responsabilité personnelle :

“1° Réalise les études et les travaux topographiques qui fixent les limites des biens fonciers et, à ce titre, lève et dresse, à toutes échelles et sous quelque forme que ce soit, les plans et documents topographiques concernant la définition des droits attachés à la propriété concernant la définition des droits attachés à la propriété foncière, tels que les plans de division, de partage, de vente et d'échange des biens fonciers, les plans de bornage ou de délimitation de la propriété foncière :

“2° Réalise les études, les documents topographiques, techniques et d'information géographique dans le cadre des missions publiques ou privées d'aménagement du territoire, procède à toutes opérations techniques ou études sur l'évaluation, la gestion ou l'aménagement des biens fonciers.”

Art. 2. - L'article 2 de la loi n° 46-942 du 7 mai 1946 précitée est ainsi rédigé :

“Art. 2 - Peuvent seuls effectuer les travaux prévus au 1° de l'article 1^{er} les géomètres-experts inscrits à l'ordre conformément aux articles 3 et 26.

“Toutefois, ces dispositions ne sont pas opposables aux services publics pour l'exécution des travaux qui leur incombent”.

Art. 3. - Le 1° de l'article 3 de la loi n° 46-942 du 7 mai 1946 précitée est complété par les mots : “ou ressortissant d'un Etat membre de la Communauté Européenne”.

Art. 4. - Le 5° de l'article 3 de la loi n° 46-942 du 7 mai 1946 précitée est abrogé.

Art. 5. - Le 6° de l'article 3 de la loi n° 46-942 du 7 mai 1946 précitée est abrogé.

Art. 6. - Le deuxième alinéa de l'article 7 de la loi n° 46-942 du 7 mai 1946 précitée est ainsi rédigé :

“Exerce illégalement la profession de géomètre-expert celui qui, sans être inscrit au tableau de l'ordre, ni être admis au stage dans les conditions prévues par l'article 4, exécute habituelle-

ment des travaux mentionnés au 1° de l'article 1^{er} ou en assure la direction suivie".

Art. 7. - L'article 26 de la loi 46-942 du 7 mai 1946 précitée est ainsi rédigé :

"Art. 26. - Par dérogation au 4° de l'article 3, pendant une période de deux ans à compter de la publication de la loi n° 87-998 du 15 décembre 1987, peuvent demander leur inscription au tableau de l'ordre les techniciens exerçant à titre personnel ou les dirigeants de sociétés ou de leurs agences titulaires de droits sociaux, sous les réserves ci-après :

"1° Etre établis ou en fonctions à la date de la publication de la loi n° 87-998 du 15 décembre 1987 :

"2° N'avoir subi aucune condamnation pour des faits contraires à l'honneur, à la probité et aux bonnes mœurs, n'avoir été ni déclaré en faillite ni mis en état de liquidation judiciaire, ne pas être fonctionnaire révoqué par mesure disciplinaire pour fait contraire à la probité et aux bonnes mœurs ;

"3° Justifier de dix ans d'exercice de la profession de géomètre-topographe dont au minimum cinq soit en qualité de chef de mission ou de principal en titre, soit exerçant les fonctions d'un chef de mission ou d'un principal en qualité de président, de directeur général, de gérant, de membre de conseil d'administration de société, ou de directeur technique, ou justifier de dix ans d'exercice de la profession d'expert agricole et foncier ou d'expert forestier ayant comporté des travaux fonciers au sens du 1° de l'article 1^{er}".

Art. 8. - L'article 27 de la loi n° 46-942 du 7 mai 1946 précitée est ainsi rédigé :

"Art. 27. - Le technicien ou le dirigeant de société titulaire de droits sociaux inscrit au tableau jouit des mêmes droits que les autres membres de l'ordre, s'il justifie de quinze ans d'activité professionnelle ayant comporté des travaux fonciers au sens du 1° de l'article 1^{er} dont dix, soit en qualité de chef de mission ou de principal en titre, soit exerçant les fonctions de chef de mission ou de principal en qualité de président, de directeur général, de gérant, de membre de conseil d'administration de société, ou de directeur technique. Jouissent également des mêmes droits les experts agricoles et fonciers et les experts forestiers justifiant de quinze ans d'activité professionnelle ayant comporté des travaux fonciers au sens du 1° de l'article 1^{er}.

"Les autres sont autorisés, pendant une période probatoire de quatre ans, à compter de leur inscription au tableau, à avoir une activité foncière au sens du 1° de l'article 1^{er} sous le contrôle ou la responsabilité d'un membre de l'ordre, soit agréé, soit désigné par le conseil régional de l'ordre.

"Le conseil régional décide de la cessation de la période probatoire ou de son renouvellement".

Art. 9. - L'article 28 de la loi n° 46-942 du 7 mai 1946 précitée est ainsi rédigé :

"Art. 28. - Il est institué une commission nationale placée sous l'autorité du ministre chargé de l'urbanisme et composée de trois membres titulaires et trois membres suppléants désignés par le Conseil Supérieur de l'ordre et de trois membres titulaires et trois membres suppléants désignés par le ministre chargé de l'urbanisme après avis des organisations représentatives des géomètres-topographes, des experts agricoles et fonciers et des experts forestiers. Le président de la commission est désigné par le ministre chargé de l'urbanisme.

"Cette commission reçoit et examine les demandes d'inscription présentées en application de l'article 26. Elle constate, par décision, que les conditions posées aux articles 26 et 27 sont remplies. Au vu de cette décision, le conseil régional concerné procède à l'inscription au tableau.

"Sans préjudice des dispositions de l'article 26, l'inscription au tableau s'effectue dans les conditions prévues aux articles 19 et 20".

Art. 10. - L'article 29 de la loi n° 46-942 du 7 mai 1946 précitée est ainsi rédigé :

"Art. 29. - Les géomètres-topographes, les experts agricoles et fonciers et les experts forestiers pourront achever les opérations autorisées en application de l'article 9 de la loi n° 85-1408 du 30 décembre 1985 portant amélioration de la concurrence, qui ont fait l'objet d'une commande avant la date de publication de la loi n° 87-998 du 15 décembre 1987.

"Ceux d'entre eux qui ont demandé à bénéficier des dispositions prévues à l'article 26 pour être inscrits au tableau de l'ordre pourront achever les travaux commandés avant la décision de la commission prévue à l'article 28".

La présente loi sera exécutée comme loi de l'Etat.

Fait à Paris, le 15 décembre 1987.

FRANÇOIS MITTERRAND

Par le Président de la République :

Le Premier Ministre,
JACQUES CHIRAC

Le Garde des Sceaux, Ministre de la Justice,
ALBIN CHALANDON

Le Ministre de l'Equipement, du Logement,
de l'Aménagement du Territoire et des Transports,
PIERRE MÉHAIGNERIE

Le Ministre de l'Agriculture,
FRANÇOIS GUILLAUME

(1) Travaux préparatoires : loi n° 87-998.

Sénat :

Proposition de loi n° 286 (1985-1986) ;
Rapport de M. Jean Colin, au nom de la commission des affaires économiques, n° 335 (1985-1986) ;
Discussion et adoption le 29 avril 1986.

Assemblée nationale :

Proposition de loi, adoptée par le Sénat, n° 99 ;
Rapport de M. Jean-Paul Charié, au nom de la commission de la production, n° 793 ;
Discussion les 16 juin et 7 juillet 1987 ;
Adoption le 7 juillet 1987.

Sénat :

Proposition de loi, modifiée par l'Assemblée Nationale, n° 367 (1986-1987) ;
Rapport de M. Jean Colin, au nom de la commission des affaires économiques, n° 50 (1987-1988) ;
Discussion et adoption le 22 octobre 1987.

Assemblée Nationale :

Proposition de loi, adoptée avec modifications par le Sénat en deuxième lecture, n° 974 ;
Rapport de M. Jean-Paul Charié, au nom de la commission de la production, n° 1064 ;
Discussion et adoption le 2 décembre 1987.

Communiqué de presse de L'Ordre des Géomètres-Experts

La loi réorganisant et clarifiant le statut de l'Ordre des Géomètres-Experts a été adoptée mercredi 2 décembre 1987 par l'Assemblée Nationale, définitivement, concluant deux ans de débats et de passions, deux ans où les contraintes et les risques se sont multipliés, où les contacts avec les régions, les Parlementaires, le Ministère de l'Equipement et le Gouvernement ont été constants.

Deux ans où nous avons constamment recherché l'unité de la profession, où nous avons aussi déploré les actions marginales plus proches souvent de la défense d'intérêts particuliers que généraux.

Deux ans où les encouragements nous ont incités à poursuivre toutefois dans la voie de la concertation.

Le texte de 1946, modifié en 1985, est donc réformé en 1987 ouvrant notre profession aux perspectives européennes.

Une nouvelle ère s'ouvre.

A nous maintenant de nous préparer, d'adapter notre profession à ce nouvel espace géographique aux habitudes et aux traditions si différentes, dans une société en perpétuelle mutation.

Ce texte n'est pas une fin, mais un début, une chance qu'il nous appartient de saisir. La cohésion de notre profession

s'impose pour réfléchir aux nouvelles possibilités, aux nouvelles formes d'exercice, aux nouvelles techniques.

C'est dans ce sens que je vous propose maintenant de conduire nos efforts, de mener notre action. L'avenir sera ce que nous en ferons. Travaillons dans cette voie et saluons les efforts de tous ceux qui ont déjà agi pour que notre profession vive.

Jacques BRETON

Président du Conseil Supérieur de l'Ordre
et du Comité Directeur de la Fédération

Communiqué de presse de la Chambre Syndicale des Géomètres-Topographes

La loi du 15 décembre 1987, théoriquement, met fin à deux années de négociations entre l'Ordre des Géomètres-Experts et notre Chambre Syndicale des Géomètres-Topographes.

Je dis théoriquement... car je suis persuadé qu'il restera, ici ou là, encore quelques intolérants, qui nous obligeront certainement à rester vigilants, pour faire respecter les droits de tous, tels que la loi nouvelle les délimite.

Cette loi n'est sans doute pas parfaite... mais elle va permettre aux Géomètres-Topographes qui répondent aux critères et qui le souhaitent de demander leur inscription au Tableau de l'Ordre des Géomètres.

Pour les autres, la topographie non foncière étant confirmée être de libre exercice, ils pourront donc continuer à pratiquer en toute sérénité leur profession.

L'esprit de la loi du 30 décembre 1985 a donc été maintenu, et cela reste le plus important.

Beaucoup de travail reste à accomplir en particulier, faire appliquer les engagements pris au cours des négociations : l'heure n'est plus aux poursuites judiciaires ni aux campagnes de dénigrement.

Entre l'Ordre des Géomètres-Experts et les Géomètres-Topographes, une page importante vient d'être tournée.

Demain nous devons œuvrer tous ensemble (Géomètres-Experts, Géomètres-Topographes, Photogrammètres, Cartographes, Informaticiens, etc...) pour organiser nos professions dans le cadre de l'Europe de 1992...

C'est le vœu que je forme en cette nouvelle année.

Le Président de la Chambre Syndicale
des Géomètres-Topographes
J. SEGUIN

BAREME D'ADHESION POUR 1988

CATEGORIE	Adhésion (droit d'inscription)	Cotisation à Association A.F.T.	Abonnement Revue XYZ (FIL... etc...)
Ingénieurs, géomètres-experts, indépendants, cadres. Personnes morales	50 F	210 F	130 F
Techniciens, agents de maîtrise, Retraités cadres et ingénieurs	30 F	80 F	130 F
Etudiants, stagiaires Service National Retraités techniciens et agents de maîtrise	10 F	20 F	130 F

— Droit d'adhésion, cotisation et abonnement sont indissociables et doivent être réglés en même temps.

— L'abonnement comprend :

la TVA au taux de 4 % pour les résidents en France,

le surcoût des frais d'expédition, éventuellement par avion, pour les résidents hors de France.

Liste des commissions :

- 1 - Vie Associative
- 2 - Personnel et Formation
- 3 - Gestion et Moyens
- 4 - Méthodes et Techniques Fondamentales
- 5 - Représentation des données physiques
- 6 - Techniques Foncières, Juridiques et Administratives
- 7 - Grands Travaux et Aménagements
- 8 - Topographie Appliquée à des Travaux Spéciaux.

ASSOCIATION FRANÇAISE DE TOPOGRAPHIE

140, rue de Grenelle - 75007 Paris

Association régie par la loi du 1^{er} juillet - N° SIRET 318762010-00011



ÉDITIONS JACQUES GABAY

RÉIMPRESSIONS

Collection
« LES GRANDS CLASSIQUES GAUTHIER-VILLARS »

Paul APPELL

● *Traité de Mécanique rationnelle*

Tome I, Statique - Dynamique du point

2 87647 010 1 6e éd., 1941, (24×16), 644 p./br., en prép.

Tome II, Dynamique des systèmes - Mécanique analytique

2 87647 011 X 6e éd., 1953, (24×16), 594 p./br., en prép.

Tome III, Équilibre et mouvement des milieux continus

2 87647 012 8 3e éd., 1921, (24×16), 762 p./br., en prép.

*Tome IV, I, Figures d'équilibre d'une masse homogène en rotation
II, Les figures d'équilibre d'une masse hétérogène en rotation.*

Figures de la Terre et des planètes.

2 87647 013 6 2e éd., 1932-1937, (24×16), 660 p./br., en prép.

Tome V, Éléments de calcul tensoriel.

Applications géométriques et mécaniques

2 87647 014 4 2e éd., 1945, (24×16), 212 p./br., en prép.

Ludwig BOLTZMANN

● *Leçons sur la théorie des gaz*

2 87647 004 7 1902-1905, (24×16), 516 p./br., France 324 F/Étranger 363 F.

Emile BOREL

● *Leçons sur les séries divergentes*

2 87647 009 8

2e éd., 1928, (24×16), 270 p./br., France 216 F/Étranger 243 F. (1er trim. 88).

Louis de BROGLIE

● *Ondes et mouvements*

2 87647 041 1

1926, (24×16), 142 p./br., France 162 F/Étranger 183 F. (1er trim. 88).

● *Éléments de théorie des quanta et de mécanique ondulatoire*

2 87647 042 X 1953, (24×16), 312 p./br., en prép.

● *La Mécanique ondulatoire des systèmes de corpuscules*

2 87647 043 8 1939, (24×16), 232 p./br., en prép.

Elie CARTAN

● *Leçons sur la géométrie des espaces de Riemann*

2 87647 008 X

2e éd., 1946, (24×16), 388 p./br., France 288 F/Étranger 324 F. (1er trim. 88).

● *Leçons sur la géométrie projective complexe*

2 87647 015 2 1931, (24×16), 336 p./br., en prép.

● *Leçons sur la théorie des espaces à connexion projective*

2 87647 016 0 1937, (24×16), 316 p./br., en prép.

● *La théorie des groupes finis et continus et la géométrie différentielle, traitées par la méthode du repère mobile.*

2 87647 017 9 1937, (24×16), 278 p./br., en prép.

Camille JORDAN

● *Cours d'Analyse de l'École Polytechnique*

Tome I, Calcul différentiel

2 87647 018 7 3e éd., 1909, (21,5×13,5), 640 p./br., en prép.

Tome II, Calcul intégral

2 87647 019 5 3e éd., 1913, (21,5×13,5), 712 p./br., en prép.

Tome III, Équations différentielles

2 87647 020 9 3e éd., 1915, (21,5×13,5), 640 p./br., en prép.

● *Traité des substitutions et des équations algébriques*

2 87647 021 7 1870, (24×16), 688 p./br., en prép.

Henri LEBESGUE

● *Leçons sur les constructions géométriques*

2 87647 002 0 1950, (24×16), 312 p./br., France 198 F/Étranger 222 F.

● *Les Coniques*

2 87647 022 5

1942, (24×16), 200 p./br., France 171 F/Étranger 192 F. (1er trim. 88).

Henri POINCARÉ

● *Calcul des probabilités*

2 87647 001 2

2e éd., 1912, (24×16), 342 p./br., France 216 F/Étranger 242 F.

● *La Mécanique nouvelle*

Conférence (1909), Mémoire (1905) et Note (1905) sur la Théorie de la Relativité

2 87647 023 3

1924, (24×16), 102 p./br., France 117 F/Étranger 132 F. (1er trim. 88).

● *Théorie du potentiel newtonien*

2 87647 024 1 1899, (24×16), 372 p./br., en prép.

● *Théorie des tourbillons*

2 87647 026 8 1893, (24×16), 218 p./br., en prép.

● *Théorie mathématique de la lumière*

Tome I

Tome II, Nouvelles études sur la diffraction.

Théorie de la dispersion de Helmholtz

2 87647 025 X 1889-1892, 2 tomes en 1 vol., (24×16), 732 p./br., en prép.

● *Figures d'équilibre d'une masse fluide*

2 87647 027 6 1902, (24×16), 218 p./br., en prép.

● *Électricité et Optique*

2 87647 028 4 2e éd., 1901, (24×16), 658 p./br., en prép.

Paul TANNERY

● *Pour l'histoire de la science hellène*

2 87647 033 0 2e éd., 1930, (24×16), 464 p./br., en prép.

● *La géométrie grecque*

2 87647 034 9

1887, (24×16), 198 p./br., France 180 F/Étranger 202 F. (1er trim. 88).

François TISSERAND

● *Traité de Mécanique céleste*

Tome I, Perturbation des planètes d'après la méthode de la variation des constantes arbitraires.

2 87647 029 2 1889, (24×16), 488 p./br., en prép.

Tome II, Théorie de la figure des corps célestes et de leur mouvement de rotation.

2 87647 030 6 1891, (24×16), 566 p./br., en prép.

Tome III, Exposé d'ensemble des théories relatives au mouvement de la Lune.

2 87647 031 4 1894, (24×16), 440 p./br., en prép.

Tome IV, Théorie des satellites de Jupiter et de Saturne.

Perturbation des petites planètes.

2 87647 032 2 1896, (24×16), 560 p./br., en prép.

● *Leçons sur la détermination des orbites,*

avec une préface de H. Poincaré

2 87647 035 7 1899, (24×16), 136 p./br., en prép.

Hors collection

Léon BRILLOUIN

● *Les tenseurs en mécanique et en élasticité*

2 87647 003 9 1938, (24×16), 376 p./br., France 243 F/Étranger 273 F.

● *La science et la théorie de l'information.*

2 87647 036 5 1959, (24×16), 314 p./br., en prép.

Léon BRUNSCHVIG

● *L'expérience humaine et la causalité physique*

2 87647 037 3 3e éd., 1949, (23×14), 620 p./br., en prép.

Jacques HADAMARD

● *Leçons de géométrie élémentaire*

Tome I, Géométrie plane

12e éd., 1937, 334 p./br.

Tome II, Géométrie dans l'espace.

7e éd., 1932, 710 p./br.

2 87647 038 1 (24×16), les 2 volumes ensemble, en prép.

JOURNAL DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE

● *Textes d'Ampère, Cauchy, Lagrange, Laplace, Legendre, Monge, Poisson...*

en prép.

Stephen C. KLEENE

● *Logique mathématique*

2 87647 005 5 1971, (24×16), 416 p./br., France 270 F/Étranger 303 F.

Trajan LALESCO

● *La géométrie du triangle*

2 87647 007 1 1952, (24×16), 130 p./br., France 135 F/Étranger 152 F.

A. LIAPOUNOFF

● *Problème général de la stabilité du mouvement*

2 87647 039 X 1907, (24×16), 280 p./br., en prép.

André LICHNEROWICZ

● *Éléments de calcul tensoriel*

2 87647 000 4 1950, (17,5×12,5), 220 p./br., France 96 F/Étranger 108 F.

Ernst MACH

● *La Mécanique*

Exposé historique et critique de son développement

2 87647 006 3 1904, (24×16), 510 p./br., France 333 F/Étranger 373 F.

Henri POINCARÉ

● *Cours d'Astronomie générale de l'École Polytechnique*

2 87647 040 3 1906-1907, (26×18), 336 p./br., en prép.

Frais d'expédition, par volume : 25 F.

Ces ouvrages peuvent être obtenus chez votre libraire ou à la :

LIBRAIRIE JACQUES GABAY

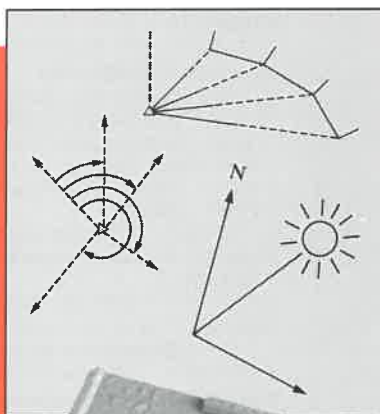
151 bis, rue Saint-Jacques - 75005 PARIS

Tél. : (1) 43 54 64 64 - Télex : 203521 F

12-87

IL A LA TAILLE D'UN ENREGISTREUR

ET L'INTELLIGENCE D'UN ORDINATEUR



Il parle la langue de ses instruments topographiques et communique avec eux sans problèmes.

Il est familiarisé avec toutes les tâches topographiques.

Il a un logiciel de topographie intelligent.

Il est individuellement programmable.

Il permet à tout moment l'accès direct aux données.

Il a plusieurs fichiers de données, mémorise en même temps les mesures telles quelles et fournit des résultats clairs.

Il trouve immédiatement chaque information grâce à sa fonction de recherche rapide.

Il est entièrement intégré au système de théodolites électroniques et peut être commandé au moyen du clavier du théodolite.

Il se charge des fonctions de commande.

Il comprend et accepte aussi la langue des autres ordinateurs.

Il travaille fidèlement et avec précision même par des températures de -20°C à $+50^{\circ}\text{C}$.

Il connaît l'heure et la date.

Le Wild GRE4 alphanumérique nouveau? Bien plus qu'un terminal de terrain insensible aux intempéries! Un ordinateur de terrain économique, rapide, fiable.

Demandez notre documentation.

WILD
HEERBRUGG

Wild + Leitz France, 86, avenue du 18-Juin-1940, BP 326
92506 Rueil-Malmaison Cedex. Tél. (1) 47.32.92.13. Télex : WLF 203334 F

Trois cents ans de géodésie française (suite)

par J.J. LEVALLOIS
Ingénieur Général Géographe

XV - De 1945 à l'ère spatiale (suite)

GRAVIMETRIE

La valeur de la pesanteur intervient dans la métrologie d'un certain nombre de grandeur physique :
— la définition de la pression atmosphérique
— celle du point d'ébullition de l'eau dans l'échelle internationale des températures
— la définition de l'ampère, etc...
y font appel.

Mais la géodésie et la prospection sont les clients principaux de la gravimétrie et, par la même occasion, fournissent éventuellement aux laboratoires des valeurs de la pesanteur suffisamment précises pour les travaux de routine.

Développement des mesures après 1945

Rappelons qu'en 1909 l'ancienne Association Géodésique Internationale avait décidé d'adopter une valeur de référence unique de la pesanteur à laquelle on se rallierait par des mesures relatives, à savoir :

$g = 9.81274$ (S.I.) $g = 981.274$ (C.G.S.)
en un point précis à l'Observatoire de Potsdam.

Ce choix définissait le "système de Potsdam".

Dans l'intervalle des deux guerres, ou peu après, on avait construit des appareils pendulaires perfectionnés assurant aux mesures relatives de la pesanteur une précision de l'ordre du milligal, par rapport à la station fondamentale :

- les pendules de la Gulf Research and Development Company (1932)
- les pendules de Cambridge (Lennox - Conyngnam - 1930)
- les pendules de la Commission géodésique Italienne (1954)

et quelques autres, avait supplanté les pendules de Stuckrath, Sterneek, Mioni et opéré de nombreuses liaisons...

A partir de 1946 de très bons gravimètres, Worden, North American, Western, Askania, Lacoste Romberg, etc... donnant le 1/10 de milligal significatif ou mieux à la lecture furent lancés sur le marché des prospecteurs et des gravimétristes.

Ce sont de très remarquables instruments d'interpolation, beaucoup plus sensibles que les pendules ; leur emploi exige des soins méticuleux mais il est sûr. En dehors des précautions opératoires proprement dites, les lectures de ces gravimètres doivent être corrigées de la dérive (fermeture en circuit fermé, fonction linéaire du temps) et d'une correction d'étalonnage dont le but est d'exprimer en milligals vrais la différence des lectures L_A , L_B de

cadran faites en deux stations A et B - cette correction d'étalonnage est considérée, sauf cas spéciaux, comme fonction linéaire de la lecture : le coefficient K dit coefficient d'étalonnage est donné

par $K = \frac{g_B - g_A}{L_B - L_A}$ en valeur moyenne.

On applique également des corrections de marées terrestres qui atteignent des valeurs sensibles aux gravimètres. Elles sont mises en tables, basées sur une formulation assez complexe.

Mais le milligal vrai est-il accessible ? C'est tout le problème.

Pour calculer une valeur correcte de ce coefficient d'étalonnage à 10^{-7} près, il faudrait connaître avec la même précision les quantités g_A , g_B , ce que les mesures relatives au pendule ne peuvent pas donner. On en vient alors à la conception suivante : en établir une valeur moyenne sur un ensemble de stations pendulaires et déduire simultanément, compte tenu de la valeur de ce coefficient **supposé constant**, l'ensemble des corrections à apporter aux valeurs g de la pesanteur observée aux stations pendulaires, sauf bien entendu à la station fondamentale. Ceci se traduit par un système de relations d'observations linéaires qui, traité par une méthode de résolution, donne k et les appoints dg aux valeurs pendulaires g de la pesanteur. Bien entendu, on peut envisager le problème à une beaucoup plus grande échelle, en employant plusieurs gravimètres sur le même réseau.

Inversement si l'on donne la valeur correcte — ou réputée telle — du coefficient d'étalonnage, on peut extrapoler les mesures et écrire que l'accélération de la pesanteur au point B, relativement au point A, est égale à :

$$g_B = g_A + K (L_B - L_A)$$

et élaborer ainsi un réseau gravimétrique **rapporté à l'origine g_A et au coefficient d'étalonnage K** du gravimètre utilisé.

Les mesures pullulèrent :

- les campagnes de prospection fine se multipliaient
- des expéditions à caractère scientifique se lançaient dans des explorations lointaines
- les scientifiques se livraient à des études leur permettant d'entrevoir de très importants résultats : forme de la terre par la formule de Stokes, études générales de tectonique, etc...

Chacun étalonnait son gravimètre au mieux sur les stations connues et extrapolait les résultats. Il en résulta, comme toujours, une prolifération de réseaux indépendants, fort corrects en soi, mais sans liaison d'ensemble, qui révélaient sur les stations communes des discordances inacceptables

dépassant de loin les erreurs possibles, interdisant toute synthèse générale.

Il fallait intervenir si l'on voulait éviter des déboires et pour cela uniformiser.

En 1953 la Commission Gravimétrique internationale, organe de l'Association Internationale de Géodésie, prit la décision de sélectionner un nombre limité de stations bien réparties, pour constituer un réseau mondial de 1^{er} ordre, d'y mesurer la pesanteur avec les appareils pendulaires garantissant la précision maxima et avec les meilleurs gravimètres (faible dérive, coefficient d'étalonnage constant). Le but était de définir une référence mondiale homogène, servant de réseau d'appui à tous usagers.

On fit choix de 3 bases principales d'étalonnage :

- une base européenne de Catane (Sicile) à Hammerfest (Cap Nord)
- une base américaine d'Ushuaia (Patagonie) à Point Barrow (Nord Alaska)
- une base du Pacifique de Christchurch (Nouvelle Zélande) à Sapporo (Japon, Hokkaïdo) sur lesquelles les gravimétristes entreprirent leurs mesures.

Le plan de travail prévoyait également des liaisons transversales entre ces bases, pour assurer l'unité d'ensemble.

Commença alors entre organismes participants une course frénétique aux liaisons mondiales, les opérateurs sautant d'un avion dans un autre, parce qu'il fallait faire vite pour éviter la dérive, mesuraient g aux aérodromes, laissant aux organismes nationaux, le soin d'établir la liaison avec la station principale.

Pendant ce temps on procédait à des compensations partielles qui permettaient d'homogénéiser les réseaux nationaux ou internationaux (Europe), de déceler les liaisons douteuses, de mettre au point la pondération gravimètres-pendules, etc...

A titre d'exemple nous donnons ci-dessous les valeurs observées par C. Mazzon (1960) sur la base Hammerfest - Catane et les valeurs d'une compensation générale du réseau pendulaire européen (M. Kneissl - 1963).

	C. MAZZON	M. KNEISSL	
Hammerfest	982 633,66	982 632,36	
Bodö	982 387,83	982 387,29	
Oslo	981 928,67	981 927,29	
Copenhague	981 558,49	981 557,91	
Bad Harzburg	981 180,99	981 180,40*	
Paris		980 940,86	980 943 LEJAY-CORON 1950
Milan	980 565,00*	980 565,36	
Bologne	980 450,30		
Rome	980 364,13	980 364,36	
Catane	980 046,75	980 047,08	
* valeur prise comme origine			

Le Bureau Gravimétrique International tenait le catalogue général.

Le système restait celui de Potsdam. Mais un fait nouveau vint vers 1960 bouleverser la donne : les métrologistes venaient de mettre au point des appareils permettant en laboratoire la mesure absolue de la pesanteur avec une précision dépassant de loin les précisions antérieures.

Changement dans la définition de certaines unités de mesure

Le mètre fut pendant longtemps défini comme la distance séparant deux traits gravés à la surface d'un étalon matériel conservé sous triple serrure au Bureau International des Poids et Mesures (Sèvres). La comparaison d'une longueur de ce mètre étalon ou à une copie pouvait se faire à une précision de l'ordre de 10^{-7} (le dix millième de millimètre) dans les meilleures conditions.

Les progrès de la physique et les exigences de la pratique amenèrent peu à peu les physiciens métrologistes à étudier l'emploi d'un nouveau phénomène indéfiniment reproductible et susceptible d'une matérialisation expérimentale plus précise. En 1960, la Conférence Générale des Poids et Mesures décidait : (63)

"Le mètre est la longueur égale à 1 650 763,73 longueurs d'ondes, dans le vide, de la radiation correspondant à la transition entre les niveaux $2p_{10}$ et $5d_5$ de l'atome de krypton 86...". L'avantage de cette définition était de substituer aux pointés sous microscope, la comparaison des longueurs d'ondes entr'elles, opération très précise.

Elle permettait d'atteindre une précision de l'ordre de 10^{-8} ou mieux.

La seconde de temps fut longtemps définie par l'astronomie comme la $1/86400$ fraction du jour solaire moyen ; or nous avons vu que les horloges à quartz des principaux observatoires décelaient des variations concomitantes dans sa durée. Comme on avait de fortes raisons de supposer qu'au point de vue de la théorie mathématique, le paramètre temps de la mécanique était mieux représenté par les vibrations du quartz, on décida de renoncer au jour solaire moyen. On y substitua d'abord en 1956 une définition théoriquement plus satisfaisante... "La seconde est la fraction $1/31556925,9747$ de l'année tropique pour 1900", c'est ce que l'on nomma la seconde du "temps des Ephémérides". Elle était malheureusement très difficilement accessible.

Finalement, une comparaison entre les mesures astronomiques et les réalisations des laboratoires amena en 1967 la Commission Générale des Poids et Mesures à définir la seconde comme "durée de 9 192 631 770 périodes de la radiation correspondant à la "transition entre les deux niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de Césium 133..." ce qui ramenait la mesure des intervalles de temps à une comparaison de fréquences et à un comptage : il existe des horloges à Césium.

Depuis 1983 une nouvelle définition du mètre impliquant en fait celle de la seconde a été adoptée "le mètre est la longueur du trajet parcouru dans le vide par la lumière pendant une durée de

1/299 792 458 de seconde'', la vitesse de la lumière étant considérée comme définitivement fixée à 299 792 458 mètres par seconde.

Mesures absolues : les nouvelles définitions et leurs conséquences métrologiques expérimentales allaient permettre de réaliser en gravimétrie scientifique des progrès considérables.

Les métrologistes entreprirent la mesure absolue de la pesanteur par observation de la chute des corps.

Les premières expériences furent entreprises à peu près simultanément par Ch. Volet et A. Thulin au Bureau International des Poids et Mesures, A. Cook au National Laboratory (Teddington - G.B), P. Agaletzky et R. Egorov (Leningrad), Martsinyak, Preston-Thomas (Ottawa).

La méthode exige les dispositions les plus subtiles de la métrologie. Le corps pesant est lancé vers le haut et l'on observe son mouvement libre, en notant à l'aller et au retour les temps de passage dans deux plans horizontaux distants de H .

Si T_1 et T_2 sont les intervalles de temps séparant respectivement les passages dans les deux plans respectivement, on obtient $g = 8 H / (T_1^2 - T_2^2)$. On procède dans un bon vide, on démontre d'ailleurs (ce n'est pas si simple) que la résistance de l'air résiduel n'altère pas le résultat dans le cas de symétrie ascension-descente.

Dès leurs premiers essais les physiciens constatèrent un désaccord complet entre leurs résultats et le système de Potsdam, c'est ainsi que Volet et Thulin observèrent pour Sèvres A (B.I.P.M - 1960) la valeur $g = 980,928$ au lieu de 980,941 que lui attribuait le système de Potsdam.

Pour bien apprécier la valeur de ces premiers résultats, il suffit de constater que la distance des deux plans de référence et les temps de passage devaient être connus à mieux que 10^{-6} . On allait d'ailleurs faire encore mieux.

Le physicien métrologiste A. Sakuma (Japon) affecté au B.I.P.M. entreprit ses expériences. Il réalisa un appareil de mesure absolue de la pesanteur donnant le centième de milligal ou mieux $\pm 3 \times 10^{-9}$ par observation du mouvement d'un prisme trirectangle rétro-réfléteur, lancé vers le haut ; au cours de son mouvement ascendant et de sa chute libre on mesurait les temps de passage aux deux niveaux intermédiaires de l'ordre de quelques décimètres, de distance connue. Cette distance se mesure par interférométrie, le temps par une fréquence étalon.

D'autres appareils de mesures absolues furent également mis au point (Faller, Hammond) qui opérèrent en diverses stations (Washington, Denver, Fairbanks, Bogota...) et A. Cook poursuivait ses mesures. Les liaisons entre stations absolues — Faller se vérifie à Sèvres et à Teddington — confirmèrent la cohérence des mesures. On disposait donc vers 1968 de repères absolus de pesanteur, dont la précision était de l'ordre de 10^{-8} ou peut-être mieux. On pouvait donc concevoir un réseau mondial quasi absolu.

Le système I.G.S.N. 1971

L'International Gravity Standardization Net (58) est une synthèse numérique :

- des travaux gravimétriques entrepris depuis 1953, conformément au projet élaboré par la Commission Gravimétrique Internationale, précisé et étendu en 1962
- des mesures absolues connues vers 1968.

C'est le résultat d'un très gros calcul portant sur l'ensemble des liaisons retenues comme valables observées pendant une dizaine d'années.

Il unifie et homogénéise dans une compensation d'ensemble :



Main Gravimeter connection in IGSN 71.

Fig. 84

Sur la lancée, il prolongeait la base jusqu'à l'Observatoire du Pic du Midi où il trouva

$$g = 979,744,44 \text{ (vestibule d'entrée)}$$

De son côté, R. Bollo (B.R.G.M.) observait sur la base de Toulouse une différence de 500,79 milligals entre Paris A et Toulouse, ce qui aurait donné à Toulouse

$$g = 980,442,56 \text{ (1954)}$$

Mais la carte gravimétrique de la France (anomalies de Bouguer) est basée sur l'origine Paris A avec $g = 980,943$ donc en désaccord de 0.35 milligal avec le choix initial de P. Lejay et J. Martin, et postule une différence de 500.20 milligals entre Paris et Toulouse. Cet étalonnage — tout relatif — fut établi en 1963 par le B.R.G.M., il fixe à 980,442,80 la valeur de Toulouse.

En définitive, il y avait en France vers 1960 deux systèmes Paris-Toulouse :

— un système J. Martin avec une base Paris-Toulouse, dont les stations intermédiaires étaient Chartres, Château-Renault, Châtellerauld, Poitiers, Angoulême, Agen, Montauban

— un système B.R.G.M. Paris-Toulouse par Orléans, Vierzon, Limoges, Brive, Cahors, Montauban. Le B.R.G.M. avait en outre établi un certain nombre de bases d'étalonnage secondaires, faciles d'accès, pour calibrer les gravimètres des prospecteurs en France. Ces bases étaient en accord avec la définition Paris-Toulouse (amplitude moyenne de l'ordre de 100 milligals).

En 1977, M. Ogier, chef de la section des gravimétries du B.R.G.M. remesurait la base fondamentale Paris-Toulouse, Pic du Midi avec un excellent gravimètre et tout en maintenant la différence de 500,20 milligals rétablissait et remplaçait un certain nombre de stations détruites et corrigeait les autres (le gravimètre utilisé aurait fixé à 500,72 milligals cette différence, mais le système de la carte gravimétrique était fixé depuis longtemps à 500,20 []).

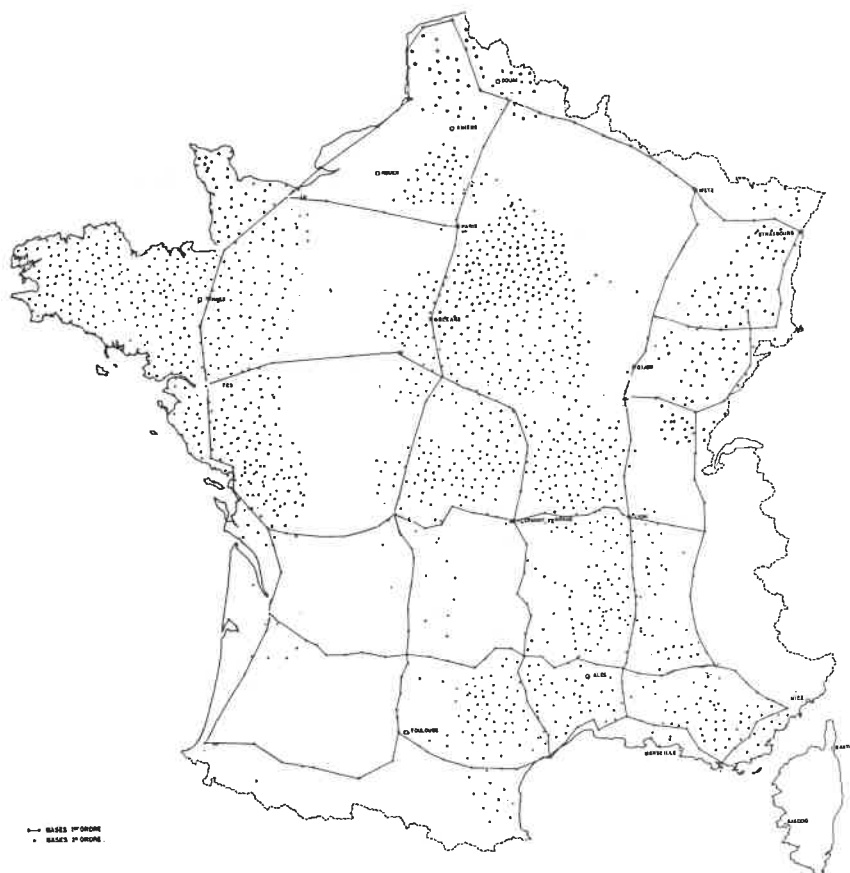
LE RESEAU NATIONAL

Le réseau ancien

Le B.R.G.M. avait poursuivi ses travaux de prospection en s'appuyant sur sa propre base Paris-Toulouse, ou sur des bases d'étalonnage dérivées. Les travaux pouvaient donc être réputés ramenés à une même échelle gravimétrique mais avec des origines régionales non rattachées ou mal rattachées entre elles.

Pour unifier l'ensemble, le B.R.G.M. décide l'observation d'un réseau dit de 1^{er} ordre (R. Bollo, M. Didosky - 1965) reliant tous les levés partiels (fig. 86) et formant cadre des levés futurs. Les fermures de ce réseau étaient très correctes pour l'époque, la plus forte est égale à 0,144 milligal et leur moyenne quadratique à $\pm 0,065$ milligal (fig. 86).

Ce réseau a été compensé (J.-J. Levallois 1978) et pourrait servir d'appui aux réseaux régionaux, qui de l'un à l'autre présentent des cassures de l'ordre de plusieurs dixième de milligal, mais il reste encore



Réseau de 1^{er} et 2^e ordre, 1965.

Fig. 86



Fig. 87

un gros travail de vérification des données du deuxième ordre, d'étude de missions locales qui n'ont pas été exploitées de sorte que le projet n'a pas encore été mis à exécution. D'autre part, l'observation d'un nouveau réseau gravimétrique français de 1^{er} ordre incitait à différer l'opération.

Le nouveau réseau

Le nouveau réseau gravimétrique français est destiné à supplanter l'ancien réseau de 1^{er} ordre du B.R.G.M. et à lui substituer un réseau :

- calé sur des mesures absolues (appareil portatif Sakuma)
- disposant de bases très précises d'étalonnage
- comportant un nouveau réseau de 1^{er} ordre observé au gravimètre Lacoste-Romberg et d'un réseau de 2^e ordre d'interpolation entre les stations de 1^{er} ordre
- susceptible de servir de support au réseau de 3^e ordre constitué par l'ensemble du réseau ancien convenablement recalculé
- en liaison directe avec les réseaux limitrophes des pays étrangers.

Ce programme a été établi en accord avec le Bureau National de Métrologie (Déc. 1978) par le B.R.G.M. auquel a été confié la mise en œuvre.

Le réseau se compose de 78 traverses de 1^{er} ordre observées par les mesures de 4 gravimètres Lacoste-Romberg. Les stations absolues de Sèvres, Toulouse, Nancy, Orléans (B.R.G.M.), Dijon, Marseille, en assurant l'échelle absolue, elles ont été

occupées avec l'appareil portatif de S. Sakuña, leur précision est de l'ordre de 1/100 de milligal comme le montre par exemple le tableau ci-dessous extrait d'un compte rendu du B.R.G.M. (station de Toulouse - 18 séries - 105 tirs - 85 conservés, du 23 au 28/4/1983).

Série	n	g	g corrigé	t
6	9	980 427,3661	980 427,3606	0,0072
7	9	980 427,3661	980 427,3608	0,0072
8	12	980 427,3622	980 427,3617	0,0041
9	9	980 427,3637	980 427,3602	0,0055
10A	10	980 427,3604	980 427,3602	0,0050
10B	10	980 427,3583	980 427,3588	0,0060
11	16	980 427,3604	980 427,3600	0,0043
12	10	980 427,3606	980 427,3612	0,0015

Le réseau de 2^e ordre avait été observé antérieurement à celui de 1^{er} ordre () dans un système provisoire, très voisin du système définitif, en liaison directe avec un certain nombre de stations absolues des pays limitrophes sur lesquelles il s'étalonne suivant un circuit Sèvres, Bruxelles, Wiesbaden, Turin, Sèvres, Toulouse, Sèvres, Arles. On avait malheureusement omis, dans l'enthousiasme du nouveau projet, d'assurer la liaison avec l'ancien réseau. On y procéda donc ultérieurement : le réseau ancien pourra donc être incorporé dans le nouveau quand on le jugera utile.

Le petit tableau ci-dessous compare les valeurs de ce nouveau réseau et d'I.G.N. 1971 en quelques points communs (fig. 87) :

	France 1983	I.G.S.N. 71
Sèvres A	980 925,95	980 925,97
Toulouse A	980 427,68	980 427,74
Capens	980 387,97	980 388,08
Château-Renault	980 818,61	980 818,59
Poitiers	980 726,90	980 726,83
Montauban	980 491,53	980 491,54

L'accord est excellent, d'autant meilleure que les observations sont totalement et absolument indépendantes.

Depuis 1975, tout ce beau travail avait été exécuté sous la responsabilité de M. Ogier et avec sa participation personnelle. Il est mort prématurément (1986). On souhaite que le B.R.G.M. puisse poursuivre et achever son œuvre.

TRAVAUX GRAVIMÉTRIQUES OUTRE-MER

Les levés gravimétriques en Orient, Indochine, Philippines du R.P. Lejay, les mesures de Vening-Meinesz dans l'archipel Malais, les études de J. de Graaf-Hunter dans les Indes tournent autour de l'équilibre isostatique, de sa réalité de ses écarts. Leurs réseaux, établis sous rattachement systématique à un réseau d'étalonnage qui n'existait guère, pouvaient cependant leur ouvrir l'accès à certains problèmes de géologie profonde par l'étude des anomalies de Bouguer et des anomalies isostatiques.

On sait que l'anomalie de Bouguer est égale à la différence entre la valeur théorique de la pesanteur sur la surface de référence, à l'aplomb de la station, et la valeur observée au sol, ramenée à l'altitude zéro, par soustraction de la topographie : défalcation du plateau "horizontal" de la station et réduction à l'air libre.

Elle admet la forme classique

$Dg = 0.000\ 1968 \cdot h$ (sur la terre ferme).

L'expérience prouve que l'anomalie de Bouguer est une fonction bien continue, qui se laisse interpoler à l'œil, qu'elle est en très grande généralité négative sur les continents et positive en mer et qu'elle matérialise certains traits de géographie régionale ; on sait également qu'elle exagère la discordance, et cette remarque a précisément incité les géodésiens à rechercher dans les théories isostatiques l'explication des différences. La réduction isostatiques, quelle qu'en soit la structure (Pratt-Hayford ou Airy-Heiskanen) conserve sensiblement les propriétés de continuité et ramène les anomalies à des valeurs beaucoup plus vraisemblables — on dit, sans trop préciser ce que cela signifie qu'elles sont plus "représentatives".

Vening-Meinesz, le grand géophysicien hollandais, fut le champion de ce type d'études ; il con-

sacra une grande partie de son activité à la structure profonde de l'Insulinde, aux compressions de l'écorce, à la formation des "graben", etc... (52). P. Lejay était, quoique admiratif, un peu plus réticent ().

Les travaux gravimétriques exécutés par les français dans les pays d'Outre-Mer visaient davantage à la création de levés gravimétriques systématiques, représentés et traduits en anomalies de Bouguer ou isostatiques dans un but de prospection.

Ils furent exécutés par des gravimétristes très qualifiés, travaillant sans l'égide d'organismes officiels.

La méthode générale de travail est classique, c'est celle qui a été pratiquée pour le réseau français :

- on détermine un réseau d'appui aussi précis que possible constituant le canevas général. Selon l'étendue du pays cela représente quelques centaines de stations se contrôlant par leurs liaisons mutuelles, aller et retour,

- ce réseau peut alors servir à l'interpolation pour des dizaines de milliers de stations de prospection qui viennent s'y appuyer.

Le prospecteur s'intéresse surtout aux variations de l'anomalie de Bouguer, c'est pourquoi un réseau de prospection étendu à la région à étudier pourrait à la rigueur suffire, mais l'existence d'une dérive instrumentale l'oblige à se contrôler souvent, donc à travailler en mailles fermées, ce qui revient à observer le réseau des bases. Celui-ci présente en outre l'avantage de la permanence, au moins tant que les progrès techniques n'incitent à la réformer pour lui substituer son successeur.

Enfin lorsque la prospection présente un caractère étendu, franchissant les frontières, etc... l'homogénéisation d'ensemble implique le rattachement à un système (Potsdam par exemple) matérialisé par un réseau de référence international ou mondial.

Le réseau des bases est la référence métrologique des mesures, le calcul des anomalies de Bouguer implique en outre :

- d'une part le choix d'une densité moyenne régionale de la croûte superficielle - celle-ci peut varier entre d'assez larges limites 2,3 à 2,8 par exemple, (la valeur 2,67 utilisée dans l'expression de Dg est conventionnelle), les anomalies de Bouguer de la carte de France présentent des discontinuités graphiques dues à des choix de densités variées suivant les régions

- d'autre part la connaissance précise des altitudes des stations et du relief.

Le prospecteur devrait donc disposer d'un réseau d'altitudes et d'une cartographie correcte, qui n'existent pas toujours en pays neuf. Il est donc souvent amené dans les travaux de reconnaissance à utiliser les altitudes barométriques donc à n'obtenir que des anomalies approchées - une erreur de 10 mètres rare mais possible même dans un levé barométrique soigné, entraîne une erreur de 2 milligals sur les isogammes, tracés souvent à l'équidistance de 10 milligals.

TRAVAUX DE L'O.R.S.T.O.M.

L'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (O.R.S.T.O.M.) fut institué par la loi du 11 octobre 1943, validée le 24 novembre 1944. Son régime a subi de nombreuses vicissitudes, reflétées par des décrets successifs qui en modifiaient les attributions, les tutelles, les liaisons, etc... Tout en conservant son sigle, il s'appelle actuellement de par un décret du 5 juin 1984, Institut Français de Recherches Scientifiques pour le Développement en Coopération.

Placé sous la tutelle conjointe du ministre chargé de la recherche et du ministre chargé de la coopération et du développement, il a pour mission :

a) de promouvoir et de réaliser tous travaux de recherche scientifique et technologique susceptibles de contribuer au progrès économique, social et culturel des pays en développement, en particulier :

— par l'étude des milieux physiques, biologiques et humains de ces pays

— par des recherches expérimentales tendant à donner à ces pays la maîtrise de leur développement

b) d'assurer l'information scientifique et technique dans les divers milieux sociaux, professionnels et culturels concernés

c) de contribuer à l'application et à la valorisation sociale, économique et culturelle des résultats de ces recherches

d) d'apporter son concours à la formation à la recherche et par la recherche de français et d'étrangers

e) de favoriser, par la conclusion de contrats, l'action en commun des organismes travaillant dans son domaine de compétence

f) de participer à l'analyse de la conjoncture nationale et internationale et de ses perspectives d'évolution en vue de l'élaboration de la politique nationale en ce domaine.

Ces définitions, extrêmement larges, englobent un très gros éventail d'activités scientifiques telles que (énumération non exhaustive) :

— entomologie

— faune, génétique animale

— géologie, hydrologie, pédologie

— océanographie, géophysique, etc...

orientées par des commissions scientifiques compétentes.

La géophysique y occupe une place importante pour la recherche et la prospection. Ses responsables successifs, Mme F. Bayard-Duclaux, J. Goguel, apportèrent un soin particulier à développer la gravimétrie.

L'Afrique Occidentale, l'Afrique Centrale, Madagascar, la Nouvelle-Calédonie firent l'objet d'une couverture gravimétrique systématique.

De nombreuses publications, intéressantes et bien faites exposent les résultats essentiels, les analysent, les interprètent et présentent les cartes correspondantes des anomalies de Bouguer, à

l'attention des prospecteurs, des recherches minières, etc...

Réseau général d'étalonnage

En 1949, Mme Bayard-Duclaux proposait l'observation d'un réseau de bases gravimétriques permettant d'homogénéiser dans un système rattaché à Paris, une longue traverse en zone francophone d'Afrique jusqu'à Madagascar, la Réunion, l'Ile Maurice.

De cette traverse se détachaient de nombreuses liaisons avec d'autres réseaux, le tout formant l'ossature nécessaire au rattachement des travaux entrepris ou à entreprendre par l'O.R.S.T.O.M.

Ce projet fut approuvé et appuyé par l'aréopage scientifique des connaisseurs, reçut l'aide matérielle des compagnies aériennes françaises ainsi que celle des organismes étrangers intéressés.

Pour la campagne d'observations F. Duclaux s'assura le concours de J. Martin (expéditions polaires françaises), observateur méticuleux qui venait de définir la base Paris-Toulouse (56). Tous deux étudièrent de très près le comportement de leur gravimètre et la correction des erreurs systématiques, puis l'on procéda aux mesures. L'origine est fixée à Paris E, $g = 980\,943$. Les différentes liaisons ont été observées plusieurs fois (fig. 88).

Les résultats sont publiés dans (57). C'est un ensemble compensé de 293 stations dotant les territoires traversés d'un certain nombre de bases très sûres. La qualité est telle qu'il a été intégré dans le réseau I.G.S.N. 1971, moyennant une correction d'étalonnage et un décalage par rapport au système de Potsdam auquel il était rattaché (par la valeur à Paris).

Inversement on peut, en prenant les valeurs initiales (57) et les comparant à I.G.S.N 1971, identifier les coefficients d'un étalonnage relatif sur la quarantaine de stations I.G.S.N. communes aux deux réseaux et transformer les 250 stations non communes en I.G.S.N. 1971. L'écart-type est de $\pm 0,06$ milligal l'écart maximum de $0,17$ milligal : la formule

$$g(1971) = g(\text{ORSTOM}) - 17,696 + 1,227(g(\text{ORSTOM}) - 978,500)$$

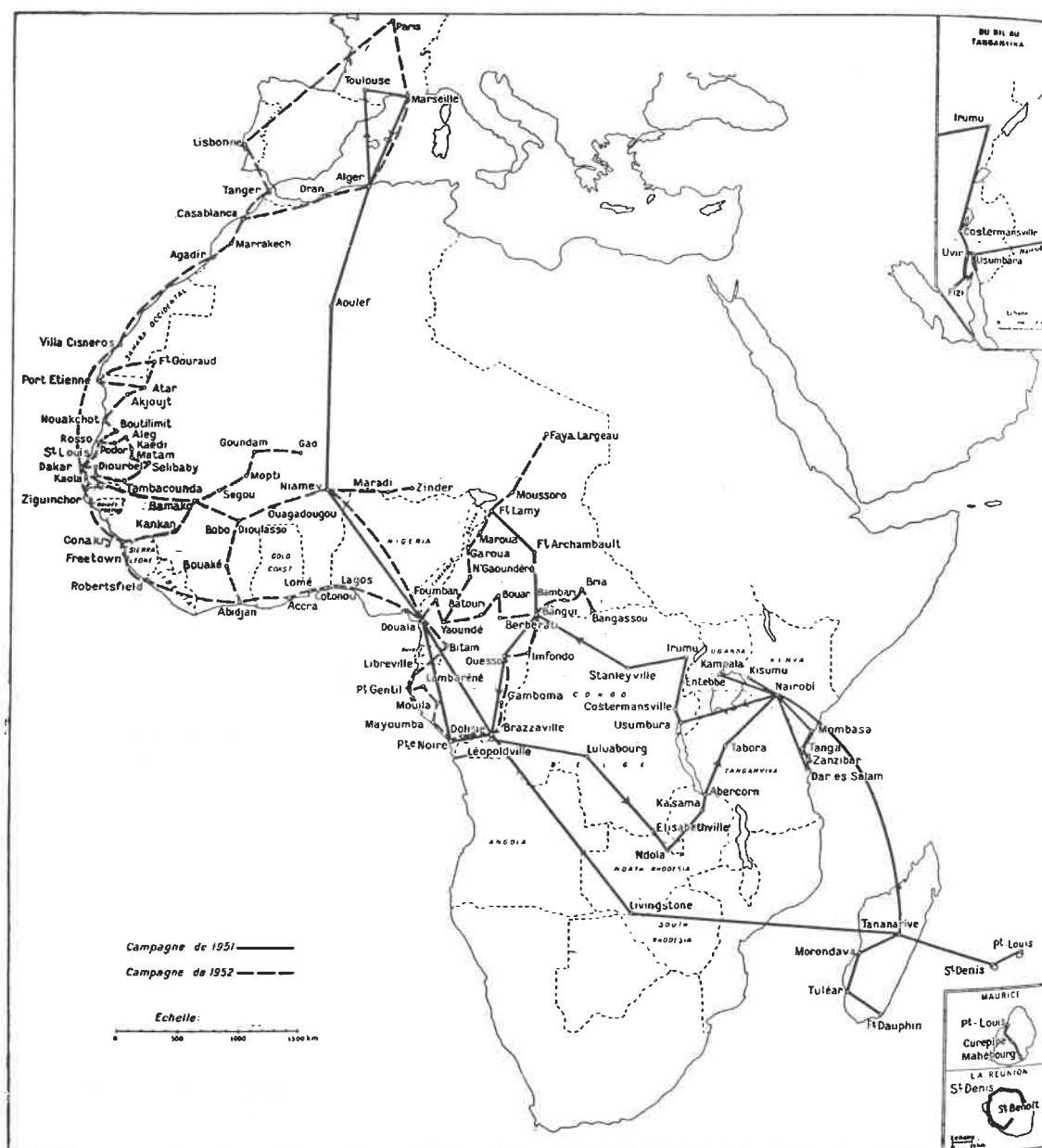
permettrait donc de transformer en un système très voisin de I.G.S.N. 1971 les levés gravimétriques rattachés au système Duclaux-Martin, et donc d'y incorporer presque tous les travaux de l'ORSTOM.

Travaux de prospection

Entre 1948 et 1952, Mlle Y. Crenn en Nouvelle-Calédonie et le R.P. Cathala à Madagascar entreprennent les premières missions gravimétriques de reconnaissance. Ces mesures seront ultérieurement reprises systématiquement et complétées entre 1965 et 1974 et poussées jusqu'à la Réunion et l'Ile Maurice.

La prospection en Afrique est entreprise par Y. Crenn qui s'adjoit plusieurs équipes de chercheurs et techniciens de géophysique.

1953-1955, liaison Sénégal-Tchad, couverture de la Côte d'Ivoire, de la Haute-Volta, du Niger, du Togo, de l'ex-Dahomey.



Réseaux d'étalonnage ORS TOM.

Fig. 88

A la fin des années 1960, outre les pays ci-dessus, la Mauritanie, le Tchad, le Mali, le Cameroun, la République Centre Afrique, le Congo, le Gabon sont couverts.

La densité des mesures varie selon les régions : de l'ordre de 200 points par degré carré dans les régions sahéliennes ou désertiques (Tchad - Niger), de l'ordre de 50 points par degré carré dans la forêt équatoriale.

Les principaux acteurs de ces levés ont été Y. Crenn, J. Rechenmann, P. Louis, et leurs assistants.

Tous ces travaux ont fait l'objet de nombreuses publications très soignées ; ils sont peu connus sauf de rares spécialistes ; ils représentent de la part de l'O.R.S.T.O.M. un effort remarquable qu'il faut souligner, et dont la France peut à bon droit se prévaloir.

TRAVAUX EN AFRIQUE DU NORD

Levé gravimétrique de l'Algérie-Tunisie

Le rôle essentiel fut joué par J. Lagrula, astronome adjoint à l'Observatoire d'Alger (La Bouzaréah) opérant en Algérie et Tunisie.

On peut distinguer deux phases dans ces travaux. La première comprend les mesures au gravimètre Holweck-Lejay et se termine vers 1949-1950.

La deuxième est une reprise des principales liaisons antérieures avec un gravimètre beaucoup plus moderne et plus précis.

1^{res} phases : vers 1933, l'Observatoire de la Bouzaréah fit l'acquisition d'un gravimètre Holweck-Lejay. Les premières campagnes furent entreprises à son compte jusqu'en 1939 et reprises à partir de 1946 avec l'aide de la Recherche Scientifique et de la Carte Géologique d'Algérie (53).

Il fallait tout créer : vers 1895-1900 Defforges et Bourgeois (S.G.A.) avaient observé une douzaine de stations en Algérie, avec la précision que nous savons. Elles ne pouvaient pas être retenues, il fallait constituer un réseau de stations d'étalonnage permettant l'interpolation ultérieure. J. Lagrula commença par étalonner son gravimètre sur un certain nombre de stations de référence, du bassin méditerranéen et en déduisit une valeur probable de g à la Bouzaréah (53) soit = 979,920. Il observait ensuite un réseau de "base" (stations) réparties sur l'ensemble du territoire de l'Algérie et de la Tunisie, dont il évalue la précision à ± 3 milligals.

Il extrapolera ce réseau très au Sud (Fort-Lamy, Niamey) et établit la liaison avec le réseau du Maroc (53) donne le tableau général de ses stations comprises dans la région limitée par la frontière algéromarocaine, la Méditerranée, la frontière Tunisie-Tripolitaine et le 30^e parallèle, en tout 463 stations toutes basées sur la valeur de la Bouzaréah, et publie une carte des anomalies isostatiques correspondantes.

La Compagnie Générale de Géophysique procè-

dera à l'interpolation pour les recherches de prospection.

2^e phase : vers 1950 J. Lagrula reçoit le gravimètre Western qu'il appelait de ses vœux, avec lequel il va pouvoir reprendre et corriger son réseau initial (54).

Il commence par étalonner avec beaucoup de soin son gravimètre, et effectue les liaisons nécessaires pour établir une nouvelle valeur à la Bouzaréah pour laquelle il trouve $g = 979,912$ (système de Potsdam. La valeur obtenue en 1951 par F. Duclaux et J. Martin est égale à 979,91279).

Il peut alors établir un réseau conforme aux recommandations initiales de la Commission Gravimétrique Internationale, et par la même occasion, recherche un coefficient d'étalonnage plus correct pour le pendule Holweck-Lejay de ses premiers travaux, ce qui lui permet de corriger les valeurs initiales (53), en appliquant ce coefficient.

La comparaison des résultats (1958) est résumée dans le tableau ci-dessous dont l'intérêt est de montrer la marge d'indécision des gravimètres et des liaisons à cette époque.

Contribution
du Pendule
Holweck-Lejay
43 bis au réseau
général africain

Station	Pendule H.L.	Martin	Western 53	Autre valeur	
BOUZAREA	979.911	979.912.8	979.912.0	979.910.9	(Harding)
Tanger	979.732.5			979.733	(Lejay)
Ber Rechid	979.558.5	979.557.6	979.557.3		
Marrakech	979.317	979.317.8	979.317.3	979.320	(Lejay)
Tunis	979.916			979.912	(Harrison)
Remada	979.460		979.458		
Aoulef	978.990.5	978.990.0	978.990.0		
El Goléa	979.249		979.247.3	979.247.5	(C.P.A.)
Fort-Flatters	979.054.5		979.051.7	979.052.4	(C.P.A.)
Tamanrasset	978.454		979.452.9		
Fort-Lamy	978.185	978.186.1			

Enfin, toujours avec son Western, il établit un réseau de bases sahariennes pouvant servir de cadre à la prospection (Pétroles d'Aquitaine, Fig. 89).

J. Lagrula a accompli, pratiquement seul, un très gros travail de mesure et de calcul - car à l'époque de ses travaux, l'ordinateur accessible à tous n'existait pas encore et le calcul des anomalies isostatiques n'est pas une sinécure.

Astronome entraîné aux techniques minutieuses de la mesure, il écrivait "... une idée assez répandue range l'utilisation d'un instrument parmi les labeurs de manœuvre. Ce point de vue est souvent inexact... la mesure constitue... une étape fondamentale... ; les résultats des mesures sont intangibles et comme on ne sait à quelles diverses sautes ils seront accommodés il faut s'efforcer de fournir du premier choix".

Il était en outre capable, comme le montre la lecture de ses œuvres, de dépasser les limites de la métrologie gravimétrique, de faire des synthèses d'ordre géologique et d'aller loin dans l'interprétation.

Son réseau serait aujourd'hui peut-être dépassé, mais à cette époque il représentait bien "le premier choix" et a grandement contribué aux succès des prospections qui s'y rattachèrent.

Levé gravimétrique du Maroc

Une première mesure (relative) de la pesanteur avait été faite par F. Reignier (S.G.A. 1931) avec l'appareil Mioni, par rapport à Paris. Il avait été fixé à 979,563 la valeur à la station gravimétrique de l'Observatoire Averroës (Ber Rechid), cette valeur fut confirmée par P. Lejay par une liaison au gravimètre. En 1938 et 1939 G. Roux et C. Clariond observent 49 stations, appuyées sur cette valeur (gravimètre Holweck-Lejay) qu'ils complèteront en 1948 par une mesure de 20 stations dont certaines reprises. Ils opéraient en liaison étroite avec J. Lagrula.

Un beau réseau est observé par la Compagnie Générale de Géophysique en 1950. Il comprend un ensemble de 1 268 stations distantes d'une trentaine de kilomètres formant réseau maillé, 42 mailles de périmètre moyen 300 km (gravimètre North American).

En 1960-1961 l'I.G.N. réobserve un nivellement de précision, auquel se juxtaposent les déterminations gravimétriques permettant le calcul des cotes géopotentielles soit 2 500 stations situées, comme l'exige un tel nivellement, à proximité immédiate des repères de nivellement, mais n'ajoutant du fait de sa spécificité que peu de renseignements nouveaux.

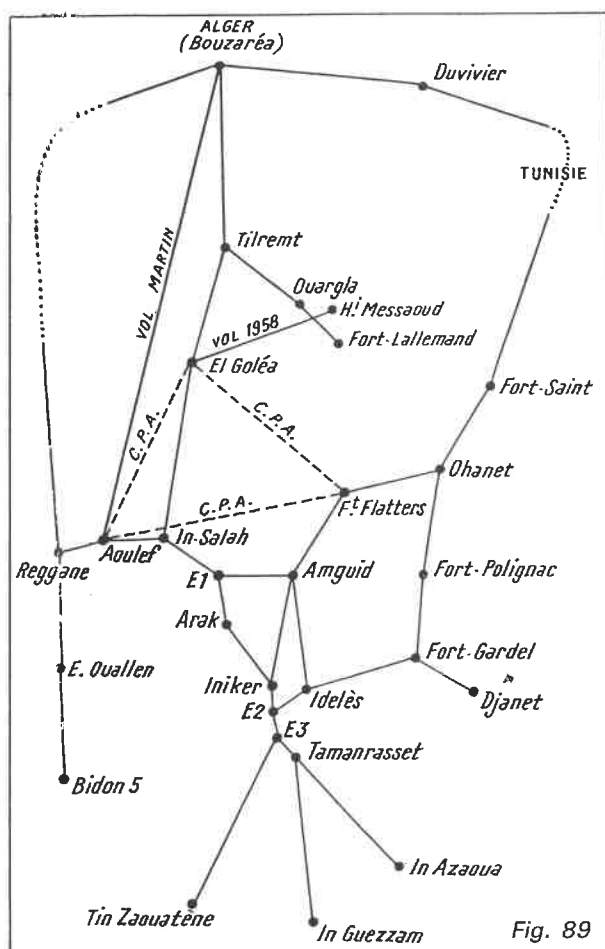


Schéma des principales stations sahariennes. Fort-Saint, Fort Polignac, Djanet, Bidou 5, Tin Zaouatene, In Guezzam, In Azaoua ne sont pas des stations de référence, mais des stations simples.

Les mesures de 1950 avaient abouti à une première publication de cartes d'anomalies de Bouguer.

Après l'accès du Maroc à l'indépendance (1956) le Service Géologique Marocain décida (1961) de compléter cette publication. Il estima après étude que le travail devait être repris de fond en comble, y compris le réseau de bases.

Un réseau nouveau fut donc implanté par la Compagnie Africaine de Géophysique (filiale de la C.G.G.) opérant sous la direction des Mines et de la Géologie du royaume (fig. 89), sur lequel est appuyé la nouvelle carte des anomalies. Il repose sur la valeur $g = 979,557,53$ à Averroès et la station de Casablanca $g = 979 644,26$ déterminées par l'O.R.S.T.O.M. (F. Duclaux, J. Martin). La direction des travaux a été assurée par l'autorité du royaume, et n'était donc plus depuis 1956 sous responsabilité française.

PARTICIPATION A LA VIE INTERNATIONALE

Organisations scientifiques

Après la première guerre intervient, nous l'avons vu, une vaste réorganisation de l'activité scientifique mondiale.

Sous le patronnage du Conseil International des Unions Scientifiques, (C.I.U.S. ou I.C.S.U., dont le siège est actuellement à Paris) un certain nombre d'unions constituaient l'armature de la concertation scientifique.

Cette organisation ne fut que très légèrement retouchée en 1946.

L'Union Géodésique et Géophysique Internationale (U.G.G.I. ou I.U.G.G.), dont la dénomination précise les attributions, coiffe les activités de ses sept Associations constituantes :

- Association Internationale de Géodésie
- Association Internationale de Sismologie et de Physique de l'Intérieur de la Terre
- Association Internationale de Volcanologie et de Chimie de l'Intérieur de la Terre
- Association Internationale de Géomagnétisme et d'Aéronomie
- Association Internationale de Météorologie et Physique de l'Atmosphère
- Association Internationale des Sciences Hydrologiques
- Association Internationale des Sciences Physiques de l'Océan.

La participation des scientifiques intéressés aux travaux des unions s'exerce par l'intermédiaire des comités nationaux : le Comité national français de géodésie et géophysique est l'organe représentatif de la France auprès de l'U.G.G.I. : il n'y a pas à proprement parler de membres des Associations, il y a des délégations, désignées par les comités nationaux, pour participer aux travaux des Unions ou des Associations lors des assemblées générales quadriennales ou des symposiums.

Chaque Union ou Association est administrée par un bureau, élu lors des assemblées générales : Président, Vice-Présidents, Secrétaire Général et ses adjoints. Elle fixe elle-même ses statuts et son règlement intérieur.

Les travaux scientifiques de l'Association Internationale de Géodésie sont du ressort de sections, de Commissions Internationales (ex : Commission gravimétrique internationale) et de groupes d'études spécialisés, tous ces organismes ayant Président (et éventuellement secrétaire).

Les Comités nationaux délèguent leurs représentants aux commissions, mais les groupes d'études font appel à des spécialistes nommément désignés.

La France, sans chercher à se pousser aux premiers rangs, a toujours fait bonne figure à l'U.G.G.I. et à l'A.I.G.

Depuis les remaniements de l'organisation de l'Union, consécutifs à la fin de la 2^e guerre mondiale, elle a fourni :

A l'U.G.G.I.

- un Président J. Coulomb (1967-1971)
- un Secrétaire Général G. Laclavère (1951-1967)

A l'A.I.G.

- 3 Secrétaires Généraux successifs P. Tardi (1948-1960, J.-J. Levallois (1960-1975), M. Louis (1975-) et des Secrétaires adjoints correspon-

dants pour les mêmes périodes (J.-J. Levallois, M. Louis, C. Boucher). Le Bureau Central de l'A.I.G. a son siège à Paris depuis 1922 (G. Perrier 1922-1946).

D'autre part un certain nombre de Services permanents, rattachés directement à I.C.S.U., exercent des activités scientifiques dans le sein des Unions : ils sont chargés de collecter et de traiter les données d'observations continues, enregistrées dans le monde entier et de les tenir à la disposition des organismes scientifiques nationaux intéressés. Ils forment une Fédération des Services Astronomiques et Géophysiques (F.A.G.S.).

Ils sont confiés à certaines nations, volontaires pour en assurer le bon fonctionnement et le rayonnement international.

La France a la responsabilité de deux d'entre eux :

- le Bureau International de l'Heure (B.I.H.)
- le Bureau Gravimétrique International (B.G.I.)

La domiciliation de ce genre de services pose des problèmes administratifs plus ou moins bien résolus : les Unions Scientifiques ne sont pas des organisations intergouvernementales, aucune convention internationale officielle ne garantit donc l'existence ou la subsistance de tels services au sein des organismes scientifiques nationaux.

Il en résulte que si le service a été créé sur initiative personnelle, c'est sur l'influence scientifique et le sens des relations publiques de son directeur qu'il faut compter pour le faire subsister, l'héberger, lui fournir le personnel et les commodités nécessaires (lumière, chauffage, téléphone, etc.) et quelles que soient la bonne volonté et la compréhension de l'organisme accueillant, malgré les subventions — très maigres — que F.A.G.S. alloue parcimonieusement, l'organisme végète et ne peut répondre convenablement aux conditions justifiant son existence.

La seule solution est de l'accueillir au sein d'un organisme national solide, dont les buts scientifiques s'harmonisent avec ceux du service international projeté ; la communauté d'intérêts crée une symbiose fructueuse pour les deux organismes, et garantit la valeur internationale des travaux.

Le B.I.H. est depuis sa création, comme on l'a déjà vu, domicilié à l'Observatoire de Paris, et l'on imaginerait difficilement meilleure adéquation.

En ce qui concerne le B.G.I. la situation fut assez longue à se décanter : créé en 1951 à l'instigation du R.P. Lejay, qui en fut le premier directeur, il fut transféré à sa mort (1958) dans les locaux de l'Institut de Physique du Globe (I.P.G.) qui assurait les commodités (locaux, entretien, chauffage, téléphone, etc.) mais ne prenait pas ses activités en compte.

La cheville ouvrière des travaux était Mlle S. Coron, physicienne adjointe détachée de l'I.P.G., héritière de la pensée du R.P. Lejay, qui assurait la marche des travaux techniques, sous la responsabilité des directeurs successifs, P. Tardi (1958-1974), J.-J. Levallois (intérim 1975-1979) ; mais le foisonnement des mesures, la banalisation

de l'informatique, les progrès des banques de données, le manque de personnel et de crédits montraient à l'évidence la précarité et l'inconfort de la situation. En 1979 sur proposition du Comité National le B.G.I. fut transféré à Toulouse au C.N.E.S. en liaison avec le Groupe de Recherches de Géodésie Spatiale, et forme avec l'aide du B.R.G.M. pour la banque de données, de l'I.G.N. pour une partie du personnel, un service désormais solide, doté de moyens qui manquaient, et qui lui permettent d'accomplir avec succès sa mission internationale, sous la direction de G. Balmino.

TRAVAUX INTERNATIONAUX

Le réseau européen unifié de nivellement (R.E.U.N)

En 1955 un symposium se réunissait à Florence pour étudier un projet de réseau européen de nivellement, unifié par compensation générale d'un certain nombre de mailles tirées des réseaux nationaux.

Le but du travail était purement scientifique : les nations intéressées mettaient en commun les données d'observations de leur choix pour en tirer un ensemble homogène, et d'un seul tenant.

Le problème, simple en apparence, était assez embrouillé :

- les réseaux nationaux dataient de différentes époques et leurs précisions n'étaient pas toujours comparables
- chacun d'eux était basé sur sa propre origine nationale (dont la définition était parfois assez vague) par exemple :
- l'origine du réseau français était au marégraphe de Marseille
- celle du réseau italien au marégraphe de Gênes
- celle du réseau allemand au marégraphe de Kiel
- celle du réseau suisse à la Pierre du Niton (Lac Léman)
- celle du réseau belge, au niveau de la basse mer à Ostende, référence changée par la suite
- etc., etc.,

On prit les décisions suivantes :

- 1) l'origine serait le zéro normal d'Amsterdam, d'ailleurs sans liaison directe avec la mer (N.A.P.)
- 2) chacun sélectionnerait ses lignes de nivellement au mieux
- 3) le réseau serait calculé en cotes géopotentielles $C = \Sigma g dh / 1\ 000$; où g serait exprimé en unités C.G.S., le dénominateur $1/1\ 000$ étant sans dimensions
- 4) les marégraphes seraient soigneusement reliés au réseau, et leurs données seraient réduites à une même époque origine (1950.0)
- 5) trois équipes de calculs (Delft, Stuttgart, Paris (I.G.N.)) étaient chargées d'effectuer les calculs, indépendamment les uns des autres.

Le géodésien danois O. Simonsen fut désigné pour préparer et coordonner le travail : c'était un homme particulièrement méticuleux. Il lui fallut trois ans pour démêler l'écheveau et dégager les données correspondantes.

La compensation — très simple — fut alors entreprise et les résultats des calculateurs s'avérèrent pratiquement identiques, bien que les méthodes de calcul fussent différentes (équation conditionnelles, variations de coordonnées - mêmes poids). L'examen des résultats fut soumis à Delft à une étude statistique des résidus où le N.G.F. fut mis sur la sellette. Effectivement, la compensation lui apportait de fortes distorsions dues aux fermetu-

res anormales des mailles de liaison avec les états voisins.

Un calcul provisoire fut repris par l'I.G.N. en 1970 après la réobservation du réseau primordial français (J.-J. Levallois, Y. Maillard), les résultats paraissent sensiblement améliorés. Nous indiquons à titre de comparaisons, dans les deux systèmes, les altitudes des marégraphes.

Marégraphe	REUN 1970	REUN 1957	Marégraphe	REUN 1970	REUN 1957
Tromsø	- 0.117	- 0.110	La Palice	- 0.164	+ 0.005
Narvik	- 0.017	- 0.010	St-Jean-de-Luz	- 0.229	+ 0.140
Heimajo	- 0.084	- 0.077	Vigo	- 0.118	+ 0.261
Bergen	- 0.066	- 0.059	Cascais	- 0.237	+ 0.140
Tregde	- 0.120	- 0.113	Cadix	- 0.194	+ 0.184
Nevlungshavn	- 0.068	- 0.061	Méditerranée		
Smogen	- 0.083	- 0.076			
Esbjerg	- 0.044	- 0.037			
Cuxhaven	+ 0.021	+ 0.028			
Den Helder	- 0.090	- 0.089			
Ostende	- 0.116	- 0.145			
Dunkerque	- 0.072	*			
Dieppe	- 0.192	*			
Le Havre	- 0.111	*			
Cherbourg	- 0.169	*			
Brest	- 0.089	- 0.015	Malaga	- 0.317	+ 0.031
St-Nazaire	- 0.179		Alicante	- 0.410	- 0.032
			Port-Vendres	- 0.514	- 0.219
			Marseille	- 0.390	- 0.170
			Nice	- 0.472	*
			Monaco	- 0.396	*
			Genova	- 0.381	- 0.329
			Venise	- 0.329	- 0.291
			Trieste	- 0.365	- 2 0.350

On voit nettement que le réseau français 1969 a entièrement modifié les altitudes des marégraphes, sur toute la côte atlantique et méditerranéenne entre Brest et Marseille.

Dans le contexte habituel des commissions internationales, un calcul tel que celui du R.E.U.N. n'est jamais terminé : il y a toujours quelque part, une traverse refaite, une liaison frontière améliorée, un collègue qui veut y apporter son grain de sel, ce qui donne l'occasion de reprendre le calcul et de discuter les nouveaux résultats. D'autres compensations se sont succédé depuis 1970, malheureusement les marégraphes ne semblent pas y avoir été pris en compte, ce qui paraissait pourtant un des thèmes les plus intéressants du travail. On sait en effet, par l'étude des seuls marégraphes, que le niveau marin monte en fonction du temps sur toutes les côtes européennes. Les variations séculaires suivantes ont été constatées (ordre de grandeur).

Méditerranée	Atlantique
Port-Vendres + 13 cm	Cascais + 16 cm
Marseille + 18 cm	Lagos + 11 cm
Gênes + ?	St-Jean/Luz + 18 cm
Trieste + 14 cm	Brest + 20 cm

L'ampleur du mouvement diminue en Manche et Mer du Nord, et s'annule vers le Jutland

Dénivelée Méditerranée - Océan Atlantique

Vers 1872 Bouquet de la Grye, célèbre ingénieur hydrographe, remarquant que la densité de l'eau de la Méditerranée est supérieure à celle de l'Océan, en avait déduit que, par le principe des vases communicants, un équilibre devait s'établir entre Médi-

terranée plus salée et Océan, par le détroit de Gibraltar ; la cote de l'Océan par rapport au niveau de Marseille devait être positive. Son calcul lui donna une dénivelée de 1,00 mètre, presque exactement égale à celle qu'indiquaient les altitudes de Bourdaloüe à Brest (1,04 m).

Malheureusement, cette concordance trop parfaite était viciée à la base :

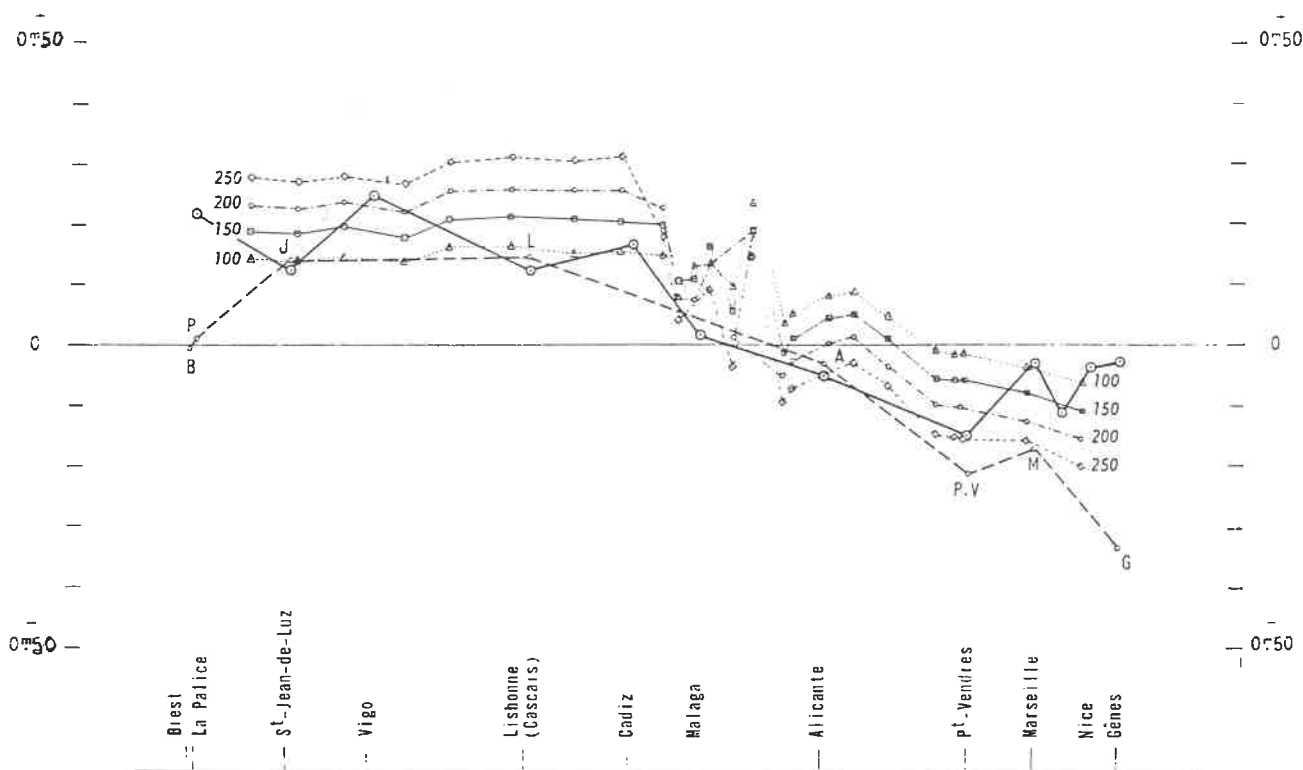
— d'une part, parce que les altitudes de Bourdaloüe ont été calculées de manière assez rudimentaire, un calcul certainement plus correct leur attribuerait une cote très différente, de l'ordre de + 0,20 m au lieu de 1,04 m

— d'autre part, parce que la densité de l'eau de mer doit être prise en moyenne et la valeur choisie par Bouquet de la Grye est fort critiquable (fig. 90).

Les océanographes, en particulier M. H. Lacombe ont montré que cette dénivelée effectivement positive (altitude de Brest supérieure à altitude de Marseille) doit être comprise entre 0,20 m et 0,45 m, concentrée sur quelques centaines de kilomètres le long des côtes entre Lisbonne (Océan) et Alicante (Méditerranée).

Ch. Lallemand s'était toujours élevé contre l'existence d'une telle dénivelée, en s'efforçant de montrer que les valeurs obtenues par les nivellements étrangers (nivellement espagnol en particulier) n'étaient pas probantes.

Cependant L. Cahierre et P. Lejay (C.R.A.D.S. 1955) utilisant la boucle du N.G.F. Marseille, Bordeaux, La Rochelle, La Pallice, Tours, Nevers, Lyon, Marseille et la calculant en cotes géopotentielles à partir de la carte des anomalies de la pesanteur trouvent eux aussi une dénivelée positive de 0,12 m.



Dénivelées Océan-Méditerranée, d'après H. Lacombe.

Fig. 90

Les valeurs des deux compensations 1957 et 1970 s'accordent, malgré la distorsion, pour donner une dénivelée positive, car si l'on compare les altitudes des marégraphes sur toute la côte, entre Ostende et Cadix (Atlantique) et Malaga et Trieste (Méditerranée) on trouve sur la moyenne :

	1957	1970
Atlantique	+ 0.081	- 0.156
Méditerranée	- 0.194	- 0.400
Dénivelée	+ 0.28 m	+ 0.24 m

Tout récemment l'I.G.N. a fait reprendre dans des conditions d'extrême précision (M. Kasser - 1983) une traverse Nord-Sud. Par rapport à cette traverse les nivellements N.G.F. et I.G.N. 1969 présentent un systématisme Sud-Nord de + 25 cm (I.G.N. 1969) et - 35 cm (N.G.F.). Il y a de fortes chances pour que cette traverse soit beaucoup plus précise que les deux nivellements précédents (bien que toute erreur systématique n'y soit pas exclue).

Compte tenu du fait que les deux nivellements antérieurs ne présentent guère de systématisme Est-Ouest, M. Kasser a corrigé les altitudes des marégraphes atlantiques de chaque système d'une quantité égale au systématisme Nord-Sud constaté pour chacun à la même altitude. Il a obtenu les cotes suivantes que l'on peut comparer à celle du R.E.U.N. 1970 augmentées de 0,39 m, (pour ramener le R.E.U.N. 1970 à l'origine Marseille).

Marégraphe	1983	1970
Dunkerque	0.28	0.31
Dieppe	0.21	0.20
Le Havre	0.30	0.28
Cherbourg	0.16	0.22
Brest	0.17	0.30
St-Nazaire	0.22	0.21
La Pallice	0.26	0.23
St-Jean-de-Luz	0.19	0.16

autrement dit R.E.U.N. 1970 et traverse 1983 sont bien d'accord, ce qui semblerait prouver que le réseau R.E.U.N. a réduit dans une certaine proportion le systématisme I.G.N. 1969 par l'intermédiaire des réseaux étrangers. Tout ceci serait à voir de plus près : la cause de ces erreurs Nord-Sud reste mystérieuse — d'autres pays les ont également constatées, la Grande-Bretagne, les USA — il n'est pas exclu d'autre part qu'il y ait une certaine pente de la mer le long du rivage atlantique (variations de salinité, régime des pressions atmosphériques, des vents, des courants, etc...).

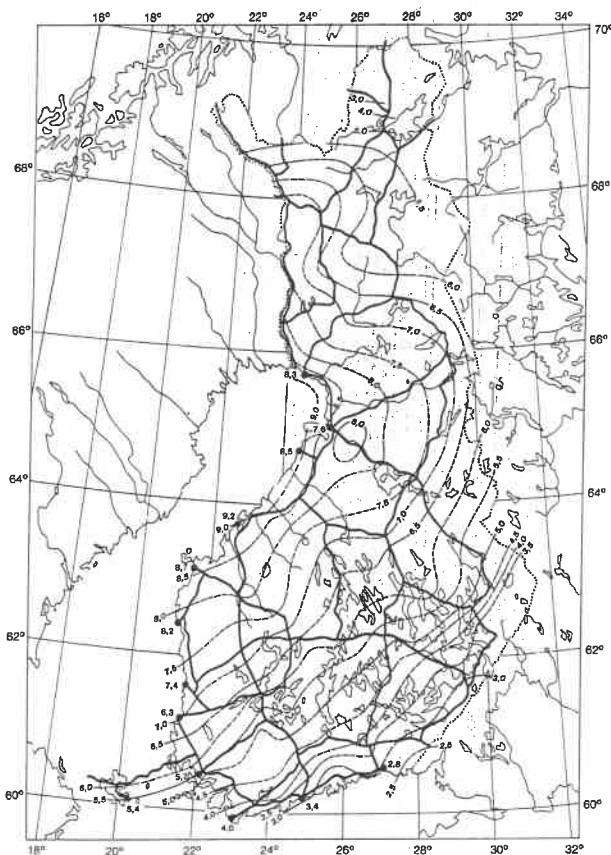
En tous cas R.E.U.N. 1957, R.E.U.N. 1970, traverse I.G.N. 1983 sont bien d'accord pour attribuer à l'Atlantique une cote supérieure à celle de la Méditerranée, respectivement 0,29, 0,24, 0,22 m et ceci entre bien dans la fourchette annoncée par H. Lacombe. On est loin des résultats de Corabeuf, 1,67 m - (1827) et de Bouquet de la Grye 1,00 m - (1872).

Quant au niveau moyen de la Baltique tous les calculs s'accordent à lui attribuer une dénivelée positive par rapport au N.A.P. croissant depuis les détroits danois jusqu'au Golfe de Botnie où elle atteint 30 cm environ.

Ici aussi on sait qu'une importante variation séculaire est observée sur tous les marégraphes, elle est négative, peut atteindre dans le golfe de Finlande — 0,7 cm par an (surrection) et s'accompagne d'un basculement général des altitudes continentales, dont on attribue la cause à une relaxation isostatique de la croûte, soulagée du poids des glaces de la dernière glaciation.

MOUVEMENTS RECENTS DE L'ECORCE TERRESTRE

Il existe au sein de l'Association Internationale de Géodésie depuis 1979, une Commission internationale des mouvements récents de l'écorce terrestre dont le but est de promouvoir la recherche de ces mouvements en relation avec les activités sismiques, volcaniques ou autres, à l'aide de mesures géodésiques réitérées. Elle définit les problèmes essentiels, les coordonne — si possible — au point de vue international, etc... Elle se subdivise en sous-commissions géographiques.



Carte de la Finlande donnant les lignes de nivellement et, en tirets, les lignes d'égale soulèvement en millimètres par an. Les points indiquent l'emplacement des marégraphes.

Fig. 91

Un centre international, domicilié à Prague, est chargé de rassembler les résultats, d'exécuter les travaux de cartographie nécessaires et d'informer la communauté scientifique des travaux récents, de constituer une bibliographie générale, etc...

Les géodésiens et les géophysiciens n'avaient pas attendu la création de cette commission pour

procéder à de telles mesures. Depuis très longtemps on parle de la variable temps comme d'une 4^e dimension en géodésie, et les différents pays ont mené des études de ce genre :

— les mesures géodésiques exécutées le long de la faille St-Andréas qui longe la côte du Pacifique et est responsable de séismes de grande magnitude (San Francisco, Alaska, etc...) sont à juste titre célèbres (fig. 91). La répétition des nivellements finlandais a mis en évidence les basculements dont nous avons parlé plus haut.

Les mesures italiennes dans le delta du Pô montrent un mouvement rapide du subsidence...

Les synthèses générales que propose la Commission sont encore, même avec l'aide de la théorie des plaques, assez lointaines selon toute probabilité, mais des études locales sont très positives et offrent à la géodésie un champ de travail attrayant.

Mouvement de surrection alpine

En 1971, M. F. Jeanrichard, Chef du Nivellement au Service Topographique Fédéral (Suisse) annonçait dans une importante communication présentée à l'Assemblée Générale de l'A.I.G. (Moscou) que la comparaison des nivellements anciens et récents sur la traverse transalpine Lucerne, Gothard, Bellinzona, Chiasso, mettait en évidence, selon toute probabilité, un mouvement de surrection du massif alpin. Il rappelait que E. Senftl avait en Autriche mis en évidence des faits analogues dans le massif de la Tauern et proposait une réunion commune aux services des nations riveraines des Alpes, (Allemagne R.F., Autriche, France, Italie, Suisse) pour étude concertée.

J. Maillard, Chef du Nivellement à l'I.G.N., qui venait précisément de terminer le nouveau réseau de 1^{er} ordre, décida de comparer sur quelques traverses alpines le N.G.F. et I.G.N. 1969, et étudia trois profils :

- un profil Bourg, Nantua, La Roche-sur-Foron
- un profil Grenoble, Aiguebelle, St-Jean-de-Maurienne, Modane, Tunnel de Fréjus
- un profil Veynes, Gap, Embrun, Briançon, Mont-Genèvre.

Le premier profil choisi à dessin dans la zone sud de la chaîne du Jura, ne révélait rien d'anormal, par contre les deux profils alpins mirent en évidence de fortes discordances systématiques entre les sommes des dénivelées brutes mesurées sur les repères retrouvés en place. Consulté, le Professeur Lemoine de l'Ecole des Mines remarqua que le profil des discordances dessinait assez fidèlement la traversée de massifs cristallins, alors que les variations observées par les suisses et les autrichiens correspondaient à des structures géologiques très voisines.

Tout ceci tend à confirmer la rémanence d'un soulèvement alpin, dans les zones cristallines ; les valeurs trouvées en Suisse, en Autriche et en France sont de l'ordre de 1 millimètre à 1,5 millimètre par an. On ne peut être absolument affirmatif, car les nivellements de précision ne sont pas exempts d'erreurs systématiques — on l'a bien vu

— mais comme le profil à travers le Jura, n'indique rien de tel, en France comme en Suisse, cela peut être un élément rassurant.

Il faut espérer que de nouvelles mesures seront reprises ultérieurement, vers 2020 pour voir, et dans cet espoir, sur les conseils du Professeur Lemoine, l'I.G.N. a reconnu et observé la partie française d'une traverse France-Italie par le Col de la Lombarde, de la Vallée de la Tinée vers Coni (Cuneo).

Dans le même ordre d'idée, l'I.G.N. a mesuré en 1972 deux traverses de haute précision des Vosges au Rhin, jusqu'à Kehl et jusqu'à Brisach : on sait que dans cette région, la vallée du Rhin est un fossé d'effondrement (Rheingraben) que les géologues et géodésiens allemands étudient avec minutie : il n'est donc pas inutile de leur apporter quelques éléments supplémentaires pour étayer leurs conclusions.

D'autres profils ont été implantés en France, à travers un certain nombre de failles, à la demande des géologues. Il faut espérer que ces travaux préliminaires ne tomberont pas dans l'oubli et que l'I.G.N. y réitérera les mesures à une cadence raisonnable.

Travaux géodésiques au Territoire des Afars

En 1972, M. H. Tazieff, au cours d'une conférence télévisée, exposait l'intérêt qui s'attachait à l'étude tectonique du Territoire des Afars et des Issas (depuis lors République de Djibouti) dans la région du Golfe Tadjoura (Nord de Djibouti). C'est une région où la séparation des plaques Afrique et Arabie, et son système de fractures se manifestent activement par des séismes, des éruptions volcaniques fréquentes, provoquant des failles ouvertes spectaculaires.

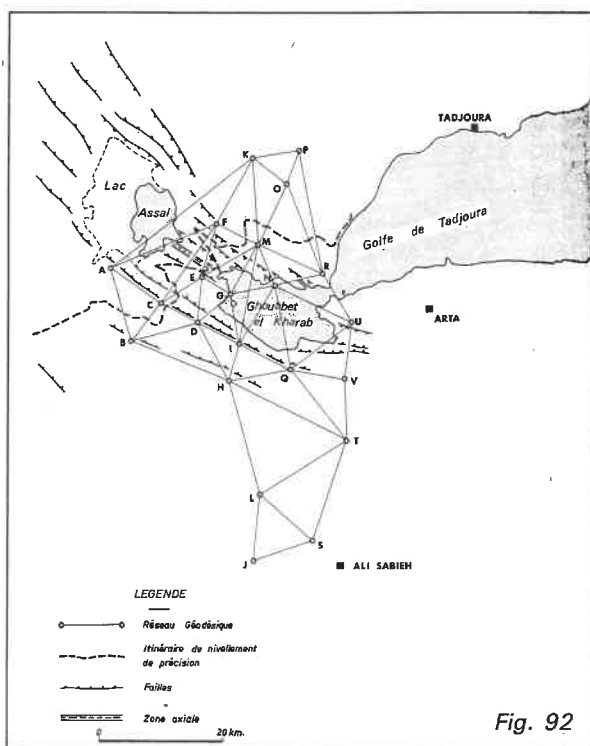


Fig. 92

Le Président de la République G. Pompidou qui était à l'écoute, lui adressa une lettre personnelle exprimant l'intérêt soulevé par son exposé et l'invitant à faire appel autant que de besoin à l'aide logistique de l'Armée qui entretenait un fort détachement sur place. M. H. Tazieff pressentit l'I.G.N. pour implanter un réseau géodésique très précis, dont l'auscultation périodique mettrait en évidence les mouvements relatifs du sol, et pourrait d'autre part servir à accrocher un réseau de détail à mailles plus petites.

Profitant des facilités qu'ouvrait la haute intervention, l'I.G.N. observait donc en 1973 un réseau extrêmement précis, appuyé au Nord et au Sud sur des régions réputées stables, doublé d'un nivellement de 1^{er} ordre joignant le Golfe de Tadjoura à la région de Gaggad (80 km à l'Est). De nombreux côtés furent mesurés au géodimètre (fig. 92). Après compensation les écarts types du réseau ressortaient à $\pm 1,2$ seconde centésimale sur les directions, $\pm 2,4$ cm sur les distances (ordre de grandeur 15 à 20 km).

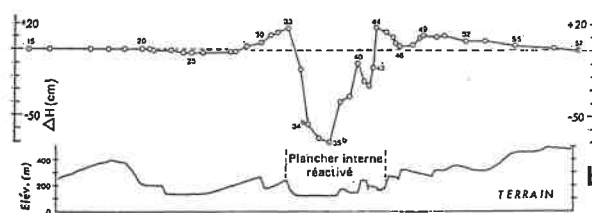
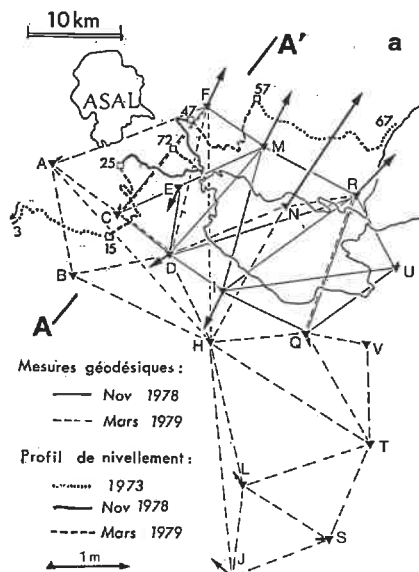


Fig. 93

Tous les points géodésiques et tous les repères de nivellement firent l'objet d'une fiche signalétique circonstanciée, permettant de les retrouver ou d'en reconstituer l'emplacement, et l'ensemble des travaux et des mesures est minutieusement consigné dans (59).

Une recherche coopérative sur programme (R.C.P. 180) chargeait l'Institut de Physique du Globe de l'étude géophysique de la région, à l'Observatoire d'Artà et dans les stations réparties dans la zone intéressée.

L'événement ne se fit pas attendre ; fin 1978 une crise sismovolcanique affectait le territoire surveillé : un tremblement de terre de magnitude 5,3

suivi d'une éruption volcanique et de nombreuses répliques, provoquait des fissures de l'ordre du mètre, des déplacements longitudinaux de l'ordre de plusieurs décimètres et réactivait des failles anciennes. La direction générale et la localisation de ces failles correspond sensiblement à une bande de 3 ou 4 km de large joignant sur la carte le Ghoubatt al Kharab au Lac Assal.

Les mesures consécutives à ces phénomènes confirmèrent l'importance des déplacements relatifs, en longueur et en Altitude (fig. 93). Après la crise de 1978, une surveillance accrue montrait que des mouvements progressifs de l'ordre de plusieurs centimètres par an continuaient à se produire. Il faut laisser aux géophysiciens le soin de les interpréter (60).

D'autres événements se sont produits depuis. Ils sont très attentivement suivis par l'I.P.G. mais le réseau reste : sa remesure complète serait certainement très souhaitable, mais ce ne sera pas une promenade.

La mission de 1973 avait été très dure : dans une région des plus déshéritées de la planète (stérilité, sécheresse, température, difficultés de parcours) la mission de l'I.G.N. sous les ordres de H. Drechou aurait éprouvé les pires ennuis sans l'aide totale que lui assura l'Armée (transports aériens, hélicoptères,

jeeps, gommiers, etc...) ce qui eut pour résultat de diviser par 3 ou 4 le concours financier de l'I.G.N. ; ce qui n'empêcha pas au retour, le contrôle financier, toujours vigilant, de demander des justifications car les crédits engagés par l'I.G.N., environ 120 000 F avaient été dépassés d'environ 10 %. La photocopie de la lettre présidentielle l'aida beaucoup à apaiser ses scrupules.

Le réseau géodésique européen (RETRIG)

Nous avons évoqué plus haut les acrobaties auxquelles se livrèrent les géodésiens au cours de la 2^e guerre mondiale pour unifier les systèmes géodésiques nationaux et en tirer un canevas unifié suffisant aux besoins militaires.

Peu après la guerre, l'Army Map Service (USA) proposa de procéder à une compensation générale des réseaux européens, ou plus exactement de constituer un cadre général homogène auquel chaque nation pouvait se raccorder à peu près correctement. Les pays de l'Est refusèrent de s'associer au projet ; les autres pays acceptèrent et firent parvenir les données correspondantes par l'intermédiaire de l'A.I.G. Les principales chaînes géodésiques nationales et les jonctions internationales correspondantes formaient l'ossature du réseau (fig. 94).

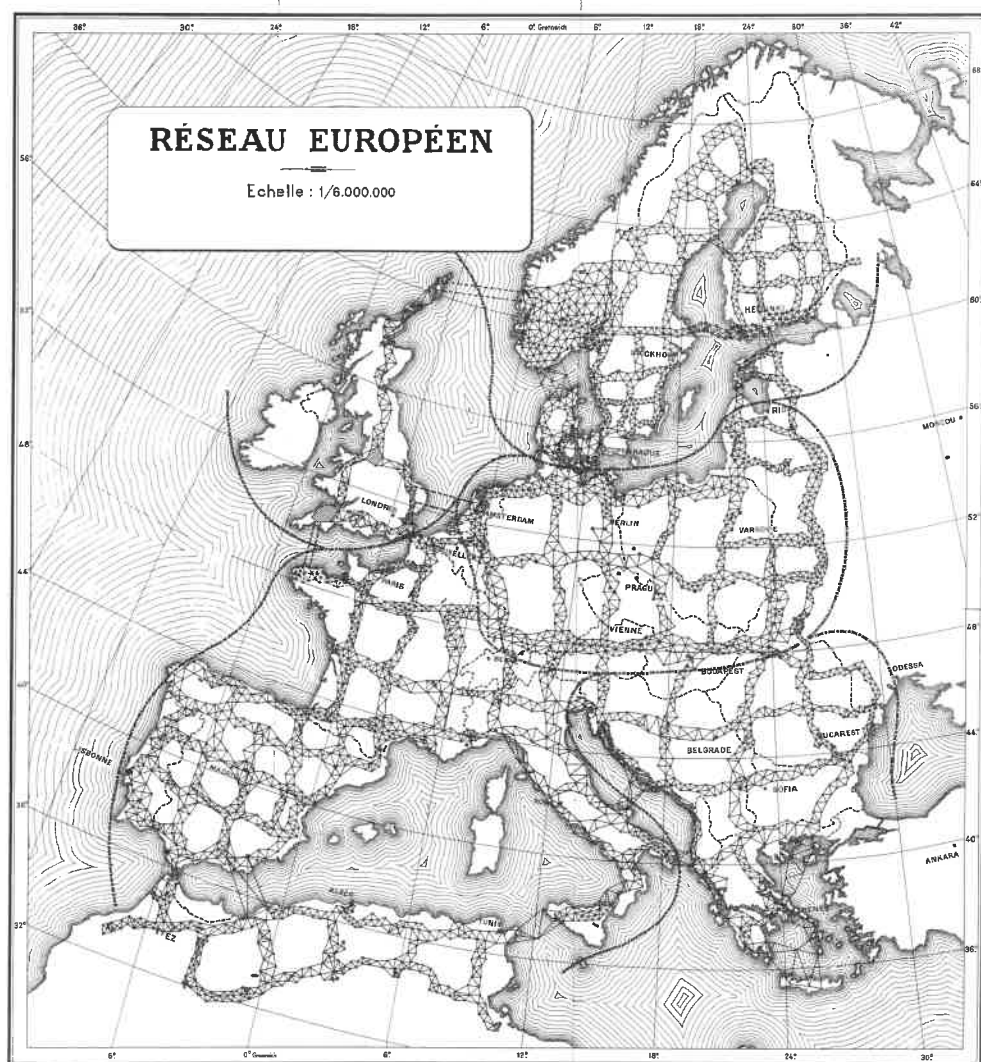


Fig. 94

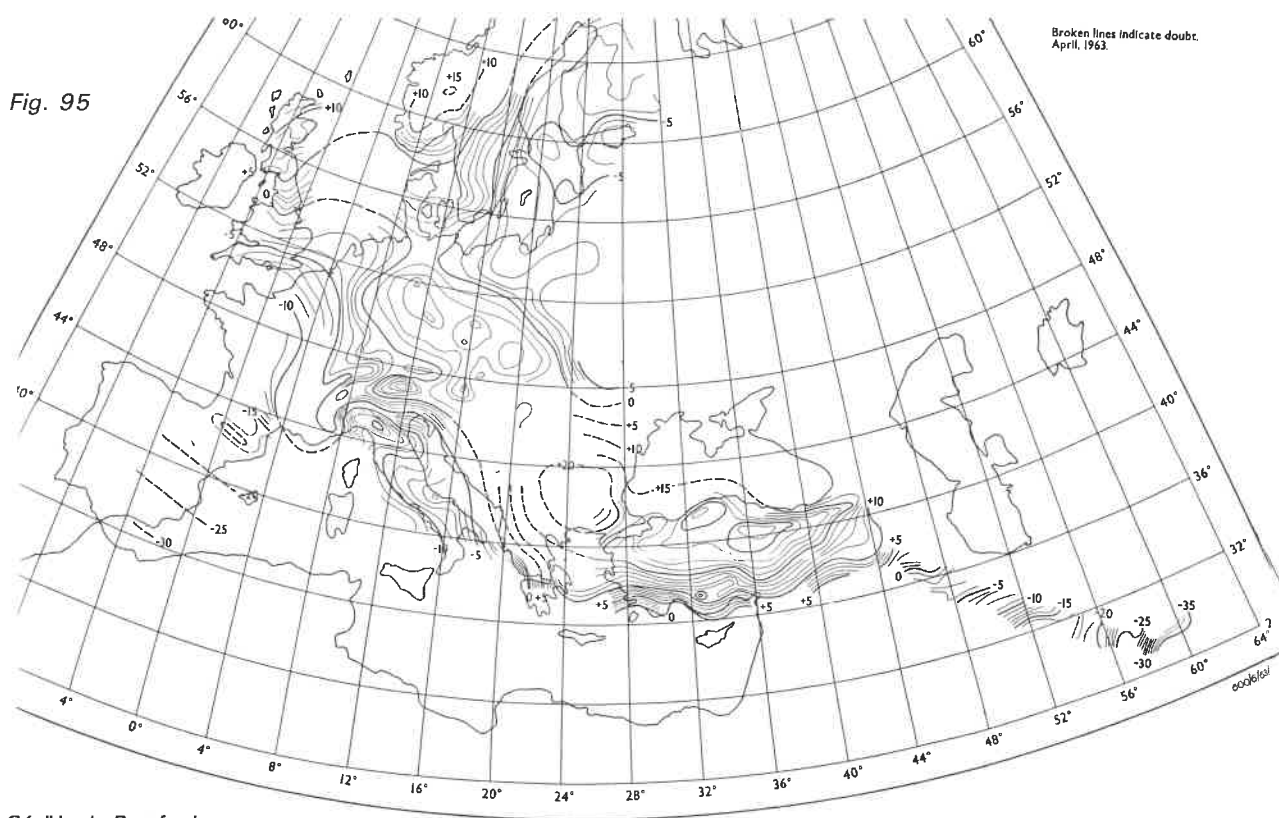
Le calcul fut exécuté par l'U.S. Coast and Geodetic Survey sous la direction de Ch. A. Whilten. Il est basé sur l'ellipsoïde d'Hayford, et calé sur une ensemble de stations astronomiques : le point fondamental est donc une sorte de moyenne. La méthode de calcul adoptée est très voisine de la méthode que W. Bowie avait utilisée pour la 1^{re} compensation du réseau géodésique des USA (économie de calculs à l'époque où l'ordinateur était inconnu).

Le réseau est décomposé en chaînes et en figures de jonction de ces chaînes. Chaque figure de jonction est compensée en soi, orientée, mise à l'échelle en se basant sur une moyenne des données voisines (bases, azimuts astronomiques) ou sur les données locales si elles existent : on connaît donc pour chaque chaîne les longueurs et azimuts des côtés extrêmes où elles aboutissent. On les compense séparément avec accord de base et d'azimut aux extrémités et on calcule les différen-

ces de coordonnées ainsi définies entre extrémités de chaîne dL, dM, pour un point donné du nœud de jonction.

On déplace alors par translation en dL, dM, (moindres carrés) les nœuds de jonction en exprimant que leur position définitive satisfait au mieux les dL, dM calculés, considérés comme observations directes. Cette position fixée, on compense à nouveau les chaînes sur les nouvelles positions (variations de coordonnées) ce qui assure échelle, azimut et coordonnées par un simple changement de termes constants des systèmes initiaux. C'est simple et efficace sinon rigoureux.

Chaque nation ne reçut que les résultats qui la concernaient. Ultérieurement fut publiée une liste de déviations de la verticale établie par le Brigadier G. Bomford : elle comportait pour tous les points astro-géodésiques, alors connus de l'ensemble du réseau, les valeurs $\xi = \varnothing_A - \varnothing_G$ $\eta = (L_A - L_G) \cos \varphi$



Géoiide de Bomford.

Cette liste, qui fut tenue soigneusement à jour, puis étendue par son auteur jusqu'à l'Inde à travers la Turquie, l'Iran, etc... fut également complétée par les pays qui procédaient à des observations supplémentaires. G. Bomford en tira un premier géoïde européen (fig. 95), rapporté au point fondamental de Potsdam (altitude zéro).

Il fut complété ultérieurement par l'I.G.N. (J.-J. Levallois, H. Monge).

Les résultats de la compensation 1950 furent critiqués. C'était pourtant un bon travail d'ensemble effectué avec soin.

En 1954, l'A.I.G. créait une Commission Euro-

péenne du RETRIG qui décida de reprendre à son compte le calcul d'ensemble du réseau. Un symposium se réunit en 1956 à Munich. Les résolutions suivantes y furent adoptées :

- le réseau européen serait constitué par l'ensemble des triangulations nationales de 1^{er} ordre disponibles
- la compensation s'effectuait en variations de coordonnées, par la méthode rigoureuse
- chaque nation effectuait ses propres calculs
- les calculs nationaux aboutiraient au système normal réduit des coordonnées de liaison avec les autres pays, après élimination partielle des incon-
nues indépendantes (méthode des groupes)

— l'ellipsoïde de Hayford serait la surface de référence, le point fondamental étant le point de la Frauenkirche (Munich) avec ses coordonnées 1950

— le centre de calcul de Munich (assisté par ceux de Delft, Londres, Paris-I.G.N.) serait le centre principal, sous la responsabilité de M. Kneissl, Président de la Commission du RETRIG.

Le réseau fut longtemps à la recherche de sa structure définitive : le RETRIG 1950 en avait montré les points faibles, il fallait reprendre ou compléter des mesures ; d'autre part, à l'époque, l'ordinateur commençait seulement à être à la disposition du géodésien, il fallut établir les programmes, étudier les méthodes de calcul propres à réduire les "erreurs d'arrondi" dans les résolutions des grands systèmes linéaires.

Le bilan du calcul s'établit ainsi (1979) :

20 238 observations de directions

2 372 observations de distances

481 observations d'azimuts

correspondant à

3 597 stations de 1^{er} ordre

7 194 inconnues (coordonnées géographiques)

3 941 constantes d'orientations (Zo de station).

Diverses études théoriques et pratiques permirent aux géodésiens de tracer des voies nouvelles.

Dans un premier calcul, purement géométrique, on ne traita que les observations angulaires et les rapports d'échelles.

Au cours d'une deuxième phase, on introduisit les azimuts de Laplace et toutes les mesures de distances. La solution correcte fut obtenue en 1979 lorsque toutes les données furent enfin rassemblées, étudiées, corrigées etc...

On y fit rentrer, au moins à titre provisoire, une liaison Doppler entre les points anglais du Nord et l'Ecosse et des Orcades et la côte de Norvège. Le réseau définitif est appelé ED 1979 (European Datum).

La part prise par la France dans cette opération fut importante :

— le réseau français avec ses 4 776 directions, ses 796 stations, ses 31 bases était un des gros morceaux. Sa préparation fut longue : reprise des carnets d'observations, rectifications, mise en forme et collationnement des données. La méthode des groupes était familière à l'I.G.N. mais les études de résolution des grands systèmes linéaires devaient être renouvelées. Les travaux d'H. Dufour ont mis en relief des méthodes d'un puissant intérêt (méthode des résidus conjugués, des gradients conjugués, évaluation de la précision de la N.T. française (voir plus haut).

Dans les organisations internationales comme l'A.I.G. il est toujours beaucoup plus facile de créer des commissions que de les dissoudre ; la Commission du RETRIG existe encore actuellement (1987). Il est question d'introduire dans le réseau les mesures spatiales, etc... On peut toujours tout améliorer car une tâche de cette envergure n'est jamais terminée. En dehors des coordonnées du réseau unifié d'Europe Occidentale proprement dite, l'entreprise a suscité des études importantes de

The European Triangulation Networks
blocking in RETRIG II - 1979

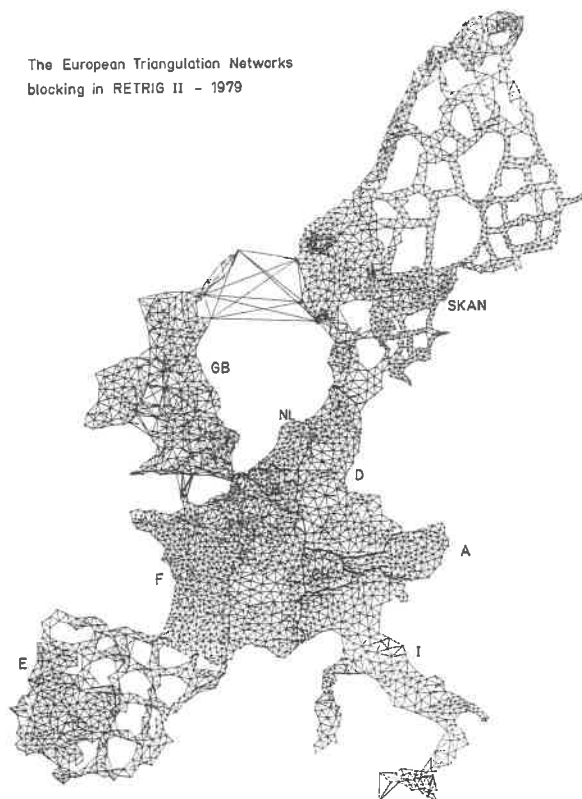


Fig. 96

mathématiques appliquées, d'évaluation, de structure des réseaux etc... malheureusement (fig. 96) les pays de l'Est n'ont point participé aux travaux, ni communiqué leurs données. Le tour de la Méditerranée occidentale par les triangulations espagnoles, marocaine, algérienne, tunisienne, italienne dont la jonction géodésique est complète — quoique parfois ancienne — n'est pas davantage entré en ligne de compte : c'est bien dommage.

Il a été dit que l'une des applications les plus importantes du RETRIG serait de fournir des informations sur les mouvements de la croûte terrestre en Europe. Je pense personnellement que ce beau travail de compensation ne le permettra point, à moins de reprendre à intervalles de 40 à 50 ans, sur les mêmes points, les mêmes mesures avec une précision accrue, ce qui paraît peu probable ni même souhaitable. C'est sur des polygones limités, avec des procédés plus précis qu'on pourrait y parvenir, et l'on est en droit de douter de l'utilité de reprendre toutes les triangulations à une époque où les méthodes sur satellite promettent des résultats très supérieurs.

Jonctions franco-anglaises

Depuis la jonction de 1861 aucune liaison géodésique n'avait été observée entre la France et l'Angleterre.

Clarke avait, en 1858, achevé la compensation du réseau britannique ; d'autre part vers 1890 la nouvelle triangulation française atteignait la région de Dunkerque : une nouvelle liaison n'aurait rien ajouté à l'état ancien, les anglais désirant ne pas modifier leurs coordonnées.

Une nouvelle triangulation des Iles Britanniques fut entreprise à partir de 1936 à l'instigation de

La première compensation du RETRIG mit en évidence les faiblesses de la connection, c'est pourquoi en 1950 Institut Géographique National et Ordnance Survey convinrent d'une opération commune qui fut observée en 1951 (fig. 96). Des conférences techniques très précises mirent au point un protocole minutieux d'observations (vacations

Le groupe français était sous les ordres de J. Segons, les observations angulaires étant faites au cercle azimutal répétiteur côté français, au théodolite Tavistock côté anglais. Nous ne nous étendrons pas davantage sur cette liaison sans histoire, mission de 1^{er} ordre classique parfaitement réussie de part et d'autre où tous les triangles ferment bien, sauf 2 dont la fermeture est de l'ordre de 8 secondes centésimales.

Une autre liaison, plus difficile, fut entreprise en 1963 entre les sommets du Cotentin, l'île de Wight et la côte Sud anglaise (Dorset) (fig. 97). Elle différait de la précédente par la longueur des côtes de la traversée, de l'ordre de 110 kilomètres, dans une région (La Manche) où les très bonnes visibilitées sont peu fréquentes, et où, de part et d'autre, il fallait monter des signaux d'une trentaine de mètres pour assurer l'intervisibilité. Aux observations angulaires s'ajoutèrent des observations de distance au telluromètre, conçues de manière à assurer le rattachement même si les visées optiques s'avéraient inobservables. L'opération était assez hardie, la portée du telluromètre était évaluée à une soixantaine de kilomètres, mais les anglais avaient prévu et expérimenté une méthode de mesure avec stations auxiliaires montées sur un petit navire navigant vers le milieu de la visée en la traversant : le minimum de la somme des deux distances relevées de manière continue correspondait à la distance totale (sauf quelques corrections) (fig. 98).

Les visées optiques ne passèrent pas si facilement : il fallut attendre plus d'un mois avant que deux ou trois nuits exceptionnellement claires permettent l'observation réciproque ; cette occasion ne se renouvela qu'une fois.

La précision angulaire en a souffert, l'écart type d'une fermeture de triangle est de $\pm 5''4$ soit $\pm 2''2$, pour une direction, la fermeture maximale est de $+ 10''15$ (triangle Coringdon, Diguleville, Flottemanville).

TABLEAU DES FERMETURES

E - Mont Etolan
 FH - Flottemanville-Hague
 Di - Digulleville
 D - Dunnose
 SC - St Catherine's Hill
 C - Coringdon
 V - The Verne

Triangle	Spherical excess		Misclosure	
	Sexagesimal seconds	Centesimal seconds	Sexagesimal seconds	Centesimal seconds
D - E - FH	6.870	21.204	+ 1.012	+ 3.123
D - E - Di	9.276	28.630	+ 0.852	+ 2.630
D - E - SC	1.932	5.963	+ 2.944	+ 9.086
D - FH - Di	2.762	8.525	- 0.283	- 0.873
D - FH - C	15.715	48.503	- 1.688	- 5.210
D - FH - SC	1.792	5.531	+ 1.190	+ 3.673
D - Di - C	15.060	46.481	+ 1.884	+ 5.815
D - Di - SC	1.643	5.071	+ 3.086	+ 9.525
D - SC - C	0.424	1.309	- 2.834	- 8.747
SC - E - FH	6.730	20.772	- 0.742	- 2.290
SC - E - Di	8.987	27.738	+ 0.994	+ 3.068
SC - FH - Di	2.613	8.065	+ 1.613	+ 4.978
SC - FH - C	13.499	41.664	- 0.044	- 0.136
SC - Di - V	20.483	63.219	- 0.738	- 2.278
SC - Di - C	12.993	40.102	+ 1.632	+ 5.037
SC - V - C	1.208	3.728	+ 0.462	+ 1.426
C - Di - V	8.698	26.846	- 1.908	- 5.889
C - Di - FH	2.107	6.503	+ 3.289	+ 10.151
E - FH - Di	0.356	1.099	- 0.123	- 0.380

Les mesures de distances sont par contre très cohérentes comme le montre le tableau compartif des mesures françaises et anglaises extrait de (61).

Line	No. of measurements		Mean measured length reduced to sea level	Final accepted length reduced to sea level
	G.B.	France		
Dunnose - Mont Etolan	16	16	108 539.157 108 539.279	108 539.218
St Catherine's Hill - Mont Etolan	21	12	105 096.619 105 096.573	105 096.602
St Catherine's Hill-Digulleville	29	20	109 583.067 109 583.115	109 583.087
Coringdon - Digulleville	29	18	106 883.539 106 882.950	106 883.313
Coringdon - Mont Etolan	11*			117 268.704
Coringdon - Flottemanville Hague	12			112 668.416
Dunnose - Digulleville	14			115 015.934
Dunnose - Flottemanville Hague	10			116 464.122
St Catherine's Hill - Flottemanville Hague	14			111 529.331
The Verne - Digulleville	16			107 464.024
Digulleville - Mont Etolan		10		33 770.501
Coringdon - Dunnose	19			55 981.268
Coringdon - St Catherine's Hill	12			48 724.958
Coringdon - The Verne	12			32 421.382
The Verne - St Catherine's Hill	12			80 232.422
The Verne - Dunnose	12			87 785.151

* Computed from direct measurements on this line.

Les calculs effectués séparément par l'Ordnance Survey et l'I.G.N. donnent des résultats très voisins que les Britanniques ont publié dans [61]. Les calculs français sont restés à l'état de dossier.

Les observations étaient coordonnées par l'I.G.C.N. Savoyant pour la France et par D.C. Crouch et J. Niblock pour la Grande-Bretagne.

Les jonctions de 1951 et 1963 ont été introduites dans la compensation européenne de 1979.

RECHERCHES SCIENTIFIQUES

L'avènement de la géodésie spatiale, ses succès

spectaculaires, laissent souvent dans l'ombre les acquisitions tant théoriques que pratiques de la géodésie classique pendant cette période ; il y en eut pourtant et d'importantes.

Au premier plan des théoriciens, M.S. Molodensky, géodésien soviétique, reprenait à partir de 1942 les concepts de base de la géodésie géométrique et de la géodésie dynamique. Pour Molodensky il y a une réalité : la surface terrestre et les mesures qu'on y exécute. L'ellipsoïde est une surface sous-jacente sur laquelle on **projette** les points de la surface terrestre. Les altitudes "normales" sont définies par l'égalité du potentiel terrestre

mesuré et du potentiel **théorique** à l'altitude H sur la verticale de l'ellipsoïde équipotentiel de référence : $\Sigma g \cdot dh = \gamma_0 (1 - H/R) \cdot H$. Le géoïde ou plus exactement le "quasi-géoïde" est la surface d'altitude zéro de ce système ; c'est ce quasi-géoïde que l'on calcule par la formule de Stokes ou mieux à l'aide d'une équation intégrale (de Molodensky) dont la formule de Stokes n'est qu'un cas très simplifié. Molodensky a également apporté du nouveau dans l'étude des marées terrestres et du mouvement du pôle.

Martin Hotine, géodésien britannique, qui indépendamment de Molodensky retrouva certains des résultats de ce dernier, les systématisa dans le concept de géodésie tridimensionnelle "... to free geodesy from its centuries-long bondage in two dimensions..." et s'inspirant des premiers travaux de A. Marussi (Italien) exprima en langage tensoriel les propriétés fondamentales de l'espace gravimétrique.

A Bjerhammar (Suède), H. Moritz (Autriche), T. Krarup (Danemark) ont abordé, étudié, de nouvelles techniques mathématiques ou rectifié et corrigé les anciennes. Le premier a généralisé la notion de matrice inverse, proposé de hardis modèles d'extension spatiale des mesures gravimétriques terrestres, H. Moritz a étudié les méthodes d'interpolation, l'extension de la méthode des moindres carrés aux données corrélées (méthodes de prédiction, de collocation) dont T. Krarup a précisé les conditions de validité et étendu le domaine d'application aux différentes variables du potentiel, le tout sans perdre de vue les buts pratiques de la géodésie. Leurs méthodes s'appliquent en géodésie terrestre et spatiale. Ils ont fait école parmi les jeunes géodésiens, meilleure preuve de la valeur de leurs concepts.

C'est vers 1950 que E. Bergstrand, physicien suédois, mit au point le premier appareil de mesure directe des distances par modulation de l'intensité d'une émission lumineuse et mesure du déphasage entre émission et réception au retour du faisceau réfléchi. C'est au fond la méthode de la roue dentée de Fizeau reprise sous une autre forme. On sait la fortune du principe, utilisé aujourd'hui dans tous les télémètres des géomètres, et repris par le telluromètre en fréquences radios.

R.C.A. Edge en Angleterre, dans un très remarquable rapport, précise les conditions d'emploi des appareils en géodésie, et au nom de l'Ordnance Survey, établissait à 298 792,5 km/s la vitesse de la lumière par comparaison avec les bases mesurées au fil d'invar pour la nouvelle triangulation de Grande-Bretagne.

Les travaux gravimétriques à l'échelle géodésique mondiale ont été développés principalement par les Etats-Unis et le Canada. Leur calage par rapport à la valeur de la pesanteur absolue a été réalisé grâce aux appareils des physiciens métrologistes (A. Sakuma-B.I.P.M.), Cook (Teddington), Falter (USA) etc...

Mais les données gravimétriques relatives au continent asiatique et à la partie européenne de l'URSS restent inconnues, étant considérées comme confidentielles, par les intéressées.

— L'astronomie de position s'est enrichie d'instruments de très haute précision pour l'observation de la polhodie et, concurrentement au Photo Zénith Tube (P.Z.T.), l'astrolabe impersonnel de A. Danjon, d'emploi beaucoup plus souple, fait partie des services des observatoires mondiaux en astronomie fondamentale.

— Dans un autre domaine ou R. Licolazet (I.P.G. Strasbourg) s'est distingué le Centre International des Marées terrestres (F.A.G.S.) domicilié à l'Observatoire de Bruxelles (P. Melchior) centralise les résultats de toutes les recherches, les analyse, les publie, les compare aux valeurs théoriques et poursuit ses propres mesures avec les appareils qu'il a mis au point (appareil Melchior-Verbandert).

— La microgéodésie de haute précision, auxiliaire indispensable du physicien nucléaire (implantation des anneaux de collision du CERN par exemple) y a trouvé son domaine d'élection, J. Gervaise (France) en est un représentant très connu.

— Les méthodes inertielles de levé d'itinéraire sont en plein essor. Elles sont employées couramment aux USA et au Canada. La France est en retard sur ce point, il est vrai que le problème s'y pose de manière différente.

En Allemagne, en Grande-Bretagne, en Italie, en URSS etc... la géodésie s'enseigne à l'Université ou dans des écoles techniques, telles que le Polytechnicum de Zurich, dans des cours de plein exercice.

En France il n'y a pratiquement pas d'enseignement universitaire de la géodésie ; il y avait antérieurement à l'Ecole Polytechnique, un cours de géodésie et d'astronomie qui a évolué vers l'astrophysique où il est maintenant spécialisé.

La géodésie s'enseigne dans les écoles d'application des établissements publics tels que l'Institut Géographique National, le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine, aux ingénieurs qui y sont affectés à leur sortie de l'Ecole Polytechnique ou par les concours internes qui sont ouverts aux candidats des différents grades.

Cet enseignement est forcément dirigé vers les activités essentielles de l'établissement responsable. Il en résulte que celui qui veut acquérir des connaissances extérieures à ses activités est contraint de s'instruire par lui-même, en général dans les ouvrages étrangers, ou suivre des cours de 3^e cycle universitaire sur des matières étroitement spécialisées en rapport avec ses intentions (par exemple en mécanique céleste).

Une certaine liaison recherche, application avec l'université serait très souhaitable à la fois pour les établissements et l'université. Peut-être serait-elle possible par l'intermédiaire des Instituts de Physique du Globe : la coopération I.G.N.-I.P.C. aux Afars en est un excellent exemple.

Quoi qu'il en soit la structure administrative française, notamment les règles de recrutement, ne permettent guère de créer un organisme à la fois d'enseignement et de recherches analogue à l'Ohio State University. Le problème est difficile. Nous verrons comment il a pu être contourné pour la géodésie spatiale.

REPEREZ-VOUS ...

avec ADRESSE !

REPERE TOPOMETRIQUE MURAL ESSILOR - SLOM



Repère fermé en position adresse postale.

Avantages :

- Point connu en XYZ.
- Double fonction (adresse postale et matricule du point).
- Stabilité et longévité du réseau Topométrique.
- Très haute résistance aux agressions (intempéries, vandalisme).
- Respect de l'environnement.
- Intégration en banque de données facilitée.
- Utilisable en toutes circonstances.
- Connaissance du positionnement des réseaux enterrés.

Double fonction du Repère :

- Fermé : adresse postale + visées angulaires.
 - Ouvert : accès aux informations logées dans le couvercle (coordonnées en XYZ du point, position des réseaux enterrés à proximité etc...).
- Utilisation pour visées avec tachéomètres électroniques (toutes marques) ou pour nivellement direct.



Repère ouvert avec accessoire pour tachéomètre électronique.

PRODUIT DEVELOPPE AVEC L'AIDE DE L'ANVAR



Documentation sur demande à :

SLOM



11 Bis, Rue du Perche, 75003 PARIS - Tél. : (1) 42 71 28 30 - Télex : 240.729

LA SOPHISTICATION PLUS LA SIMPLICITÉ.

STATIONS TOTALES NIKON DTM-1 ET DTM-5

La sophistication, c'est la haute technologie de l'opto-électronique.

Grâce à elle, une nouvelle gamme d'appareils géodésiques a vu le jour. Les stations totales, à la fois théodolites et télémètres.

Des codeurs rotatifs permettent une précision d'angle de la seconde pour le Nikon DTM-1 et du milligrade pour le DTM-5. Sans micromètre.

Un calculateur ultra performant équipe les stations totales Nikon. La mesure des distances n'avait jamais été aussi précise, aussi rapide.

Les stations totales Nikon DTM-1 et DTM-5 ont un «plus». La simplicité, grâce à l'automatisation. Couplées avec l'enregistreur de mesures programmable DR-1, elles travaillent pratiquement seules.

Elles sont complètement Nikon. Autrement dit, robustes, fiables, avec la perfection optique et l'avance technologie Nikon.

Très compactes et légères, elles sont simples à utiliser. Vous devriez demander un essai.

Pour assister à une démonstration ou recevoir une documentation sur les stations totales Nikon DTM-1 et/ou DTM-5, écrivez ou téléphonez à Nikon France s.a.

- Division Instruments - BP 33 94222 - Charenton-le-Pont Cedex. Tél. (1) 43.75.97.55.



XVI — Géodésie spatiale : les premiers pas

L'Assemblée Générale de l'Union Géodésique et Géophysique Internationale (UGGI) réunie à Toronto (Canada) se sépara à la mi-septembre 1957.

John O'KEEFE (USA) y avait, entre autre proposé la constitution d'un groupe de travail consacré à l'étude du mouvement des satellites artificiels, que l'on s'apprêtait fiévreusement à lancer. Les tentatives s'étaient jusqu'alors soldées par des échecs et le succès paraissait encore si lointain que la proposition ne fut pas retenue. Le 4 octobre suivant, l'URSS réussissait avec Spoutnik 1 la première expérience de satellisation...

Ce fut le coup de pied dans la fourmilière.

Un champ nouveau s'ouvrait à la science, dont il embrassait une famille énorme d'activités, depuis la biologie, la médecine, le renseignement militaire, les télécommunications, la géographie physique et économique, la physique, les sciences de l'Univers et parmi elles la géodésie.

Le Conseil International des Unions scientifiques créait un Comité Spécial de Recherches Spatiales (COSPAR).

En France, la loi n° 61-1382 du 19 décembre 1961 créait un Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) :

Art. 1^{er} — Il est institué sous le nom de Centre National d'Etudes Spatiales un établissement public scientifique et technique, de caractère industriel et commercial, doté de l'autonomie financière et placé sous l'autorité du Premier Ministre.

Art. 2 — Le Centre National d'Etudes Spatiales a pour mission de développer et d'orienter les recherches scientifiques et techniques poursuivies dans le domaine des recherches spatiales.

Il est notamment chargé :

1° De recueillir toutes informations sur les activités nationales et internationales concernant les problèmes de l'espace, son exploration et son utilisation ;

2° De préparer et de proposer à l'approbation du comité interministériel de la recherche scientifique et technique les programmes de recherche d'intérêt national dans ce domaine ;

3° D'assurer l'exécution desdits programmes, soit dans les laboratoires et établissements techniques créés par lui, soit par le moyen de conventions de recherche passées avec d'autres organismes publics ou privés, soit par des participations financières ;

4° De suivre, en liaison avec le ministère des affaires étrangères, les problèmes de coopération internationale dans le domaine de l'espace et de veiller à l'exécution de la part des programmes internationaux confiée à la France ;

5° D'assurer soit directement, soit par des souscriptions ou l'octroi de subventions, la publication de travaux scientifiques concernant les problèmes de l'espace.

Rappels élémentaires

Si nous nous bornons initialement au cas théorique d'une terre à symétrie rigoureusement sphérique, un satellite artificiel (ou non) graviterait selon les lois de Képler :

— l'orbite serait une ellipse, admettant un foyer au centre de la terre (fig. 99)

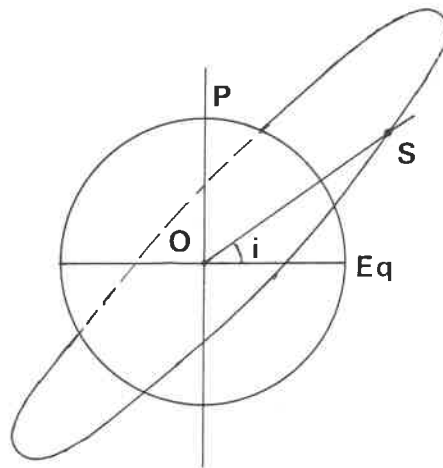


Fig. 99

— le plan de cette ellipse serait invariable par rapport aux étoiles et défilerait donc devant les méridiens terrestres

— l'orbite serait décrite suivant la loi des aires par le rayon vecteur centre de la terre - satellite

— la période T du satellite serait donnée par la 3^e loi de Képler (précisée par la théorie mécanique) $G(M + m) = 4\pi^2 a^3/T^2$ où :

— GM est le produit de la masse terrestre M par la constante de l'attraction universelle (m masse du satellite négligeable)

— T est la période de révolution

— a est le demi grand axe de l'ellipse décrite.

On a d'autre part pour la pesanteur la valeur (très grossière)

$$g = \frac{GM}{R^2} \text{ d'où la relation : } T = 2\pi (a^3/gR^2)^{1/2} : \text{un}$$

satellite qui graviterait à la surface de la terre (a = R) aurait donc pour période :

$$T_0 = 2\pi \frac{R}{g} \text{ soit environ 1 heure, 24 minutes.}$$

Un satellite de demi-grand axe "a" aura pour période approximative

$$T_0 \left(\frac{a}{R}\right)^{3/2}$$

d'où l'on tire par exemple que la période d'un satellite gravitant :

— à 1 000 km est de l'ordre de 1 heure, 45 minutes

— à 36 000 km de 24 heures, altitude des satellites "stationnaires".

On voit également qu'un satellite ne peut survoler que les régions terrestres comprises dans une zone de latitude $-i, +i$, i étant l'inclinaison du plan orbital sur l'Equateur ; les satellites polaires survolent seuls successivement toutes les régions du globe. Une base de lancement ne peut donc, sauf correction ultérieure de trajectoire, lancer que des

satellites dont l'inclinaison équatoriale i soit supérieure à sa latitude (intérêt de la base de Kourou).

Le satellite n'étant pas lumineux par lui-même n'est observable aux instruments d'optique que s'il est éclairé par le soleil ; bien entendu il ne peut être observé directement en plein jour par suite de l'intensité de diffusion de la lumière solaire, c'est donc la nuit lorsqu'il n'est pas éclipsé par le cône d'ombre de la terre qu'il est accessible à l'observation directe.

D'autre part sa vitesse de déplacement sur l'orbite est de l'ordre de $7750 \frac{R}{a}$ m/sec (elle diminue avec

a) : un satellite gravitant à 1 000 km va défilé à raison de 23' par seconde au-dessus d'un point survolé ; pour qui connaît la difficulté des pointés optiques — le champ d'une lunette est de l'ordre du degré — son observation précise implique donc les dispositifs spéciaux de suivi.

On est accoutumé de nos jours à utiliser le satellite sans le voir, mais on se doute bien que les observations optiques de nuit furent initialement les seules possibles et que ce sont elles qui ont permis de déterminer les premiers mouvements précis, d'en tirer les conséquences scientifiques qui en retour permettent les utilisations pratiques aveugles.

En France, les principaux intéressés par l'étude du mouvement des satellites étaient à titres divers :

- le Centre National d'Etudes Spatiales (CNES)
- le Bureau des Longitudes
- certains services internationaux domiciliés en France
- l'université
- l'Institut Géographique National (IGN).

En 1963-1964 le CNES créait un département "Calcul d'Orbites" chargé du traitement des données de poursuite des satellites et de la restitution de leurs trajectoires, indispensable pour fournir les éphémérides nécessaires aux instruments de poursuite.

Il devait, par sa vocation même, restituer les orbites et par conséquent modéliser les forces, gravitationnelles ou autres, qui agissent. Il fallait définir le potentiel de gravité en altitude, donc faire appel aux données géodésiques déjà connues, comparer prévision et réalité, noter les discordances, interpréter et rectifier, etc...

- le Bureau des Longitudes, spécialiste des questions de référentiel stellaire et de mécanique céleste était tout désigné pour faire profiter le département naissant de son expérience en ces matières,
- le Bureau International de l'Heure et le Bureau Gravimétrique International étaient, chacun en ce qui le concernait, directement intéressés,
- l'Université (Paris VI) créait dans son diplôme d'Etudes approfondies d'astronomie une option orientée vers les spécialisations nouvelles : mécanique céleste (65), mouvement des satellites artificiels (63), géodésie dynamique, fort appréciée du CNES qui y puisa de nombreuses recrues,
- l'IGN ne pouvait que s'ouvrir aux moyens nouveaux que l'espace apportait à la géodésie pratique ou théorique.

Enfin d'autres organismes, l'ONERA, certains laboratoires du CNRS (aéronomie) avaient beaucoup à attendre des observations spatiales, qui attireraient également l'intérêt des astronomes, des aéronomistes et géophysiciens.

GEODESIE GEOMETRIQUE

Pendant que les spécialistes de mécanique céleste poussaient leurs calculs et affinaient leurs modèles, d'autres mettaient au point des méthodes purement géométriques de liaison à distance dans lesquelles, le satellite artificiel jouait le rôle de mire géodésique auxiliaire, et les étoiles celui de repères de direction. La triangulation spatiale préconisée par Vaisala (Finlande) et d'Atkinson (G.B.) est basée sur le principe suivant : en un lieu et une date donnée, au cours du mouvement diurne de la sphère céleste, les étoiles défilent et leurs positions, définies sur la sphère des fixes par des siècles d'observations astronomiques, sont reliées à l'heure sidérale locale HS par des relations trigonométriques.

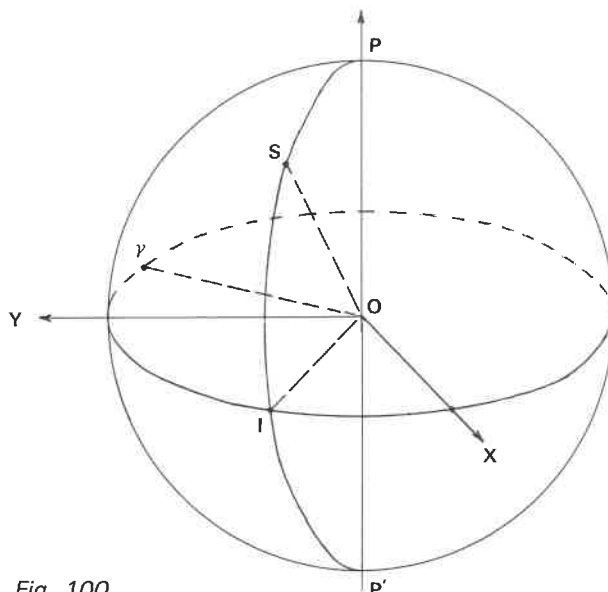


Fig. 100

Soit HS l'heure sidérale locale au méridien G, H l'angle horaire (observé) δ la déclinaison de l'étoile, α son ascension droite, on a :

$$\begin{aligned} \widehat{G\gamma} &= HS & \widehat{\gamma I} &= \alpha & \widehat{GI} &= H & IS &= \delta \\ \text{et les cosinus directeurs de la direction stellaire dans un système d'axes rétrograde sont :} \\ p &= \cos H \cos \delta = \cos (HS - \alpha) \cos \delta \\ q &= \sin H \cos \delta = \sin (HS - \alpha) \cos \delta \\ r &= \sin \delta \end{aligned}$$

Si, pour simplifier, on adopte comme origine terrestre le méridien de Greenwich, l'heure sidérale, l'ascension droite et la déclinaison sont définies avec une grande précision par les éphémérides astronomiques en fonction du temps universel t . La direction spatiale OS est donc caractérisée dans le système terrestre de Greenwich par p, q, r , à l'instant t , rapporté à un système d'axes rectangulaires o, x, y, z , tel que o, x, y soit dans le plan méridien de Greenwich (oy dirigé vers l'ouest) : tou-

tes les étoiles cataloguées sont donc définies en position.

Supposons alors qu'un satellite spécialisé émette un signal lumineux instantané, que l'on photographiera sur fond d'étoiles de plusieurs stations terrestres différentes. Par effet de perspective, le satellite apparaîtra sur les plaques de chaque station sur un fond d'étoiles différentes, dont les directions p, q, r , sont connues dans le système x, y, z , de Greenwich, pourvu que l'on connaisse en chaque station l'heure précise T.U. de la prise de vues des étoiles de fond. Si par conséquent, on peut par mesure des plaques et interpolation déterminer l'ascension droite et la déclinaison de l'éclair lumineux, on connaît sa direction précise (p, q, r) et l'intersection des rayons correspondants définit la position spatiale de l'éclair dans le système terrestre.

S'il y a plusieurs éclairs successifs, enregistrés aux mêmes stations, dont quelques-unes peuvent n'être pas connues, les visées correspondantes définissent à partir des positions calculées du satellite des intersections inverses qui se recoupent sur les points inconnus et les définissent en position dans le système général des coordonnées : c'est une triangulation spatiale, que deux points connus en position sur la terre suffisent à définir.

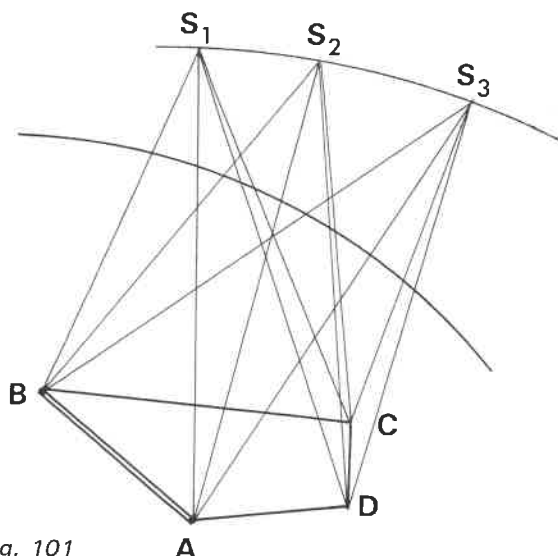


Fig. 101

Satellites utilisés

A des fins géodésiques furent lancés un certain nombre de satellites émetteurs d'éclairs (ANNA, GEOS B). Ils étaient programmés pour émettre au-dessus d'une région donnée à la surface terrestre, une salve de 5 à 7 éclairs, à une cadence de l'ordre de la seconde, à un instant bien précis, ce qui permettait de les identifier avec certitude sur les plaques sensibles, connaissant les coordonnées approchées de chaque station.

D'autres satellites (GEOS A, D1C, D1D, STARLETTE...) étaient munis en surface de prismes cataphotes (corner reflectors) : on connaît la propriété du prisme trirectangle de réfléchir exactement dans la direction incidente tout rayon lumineux qui le frappe, il en résulte que si on réussit à émettre d'une station terrestre vers le satellite un éclair lumineux suffisamment énergétique et si l'on peut en

détecter le retour, le temps de parcours aller-retour donnera la distance du satellite à l'instant d'émission (compte tenu des corrections d'aberration). Ils étaient destinés à la mesure de la distance station-satellite, à l'aide de télémètres "Laser".

Les satellites Echo I et Echo II, plus tard le satellite PAGEOS, lancés par les Etats-Unis, étaient des ballons de fort rayon en matière plastique très fine, revêtus d'une couche métallisée réfléchissant le soleil. Ils étaient lancés pliés, et se déployaient dans le vide par sublimation d'un composé chimique spécial, déposé à l'intérieur. Ils se présentaient comme des étoiles brillantes comme VEGA (Echo I et II) ou la polaire (PAGEOS), et laissaient sur la plaque photographique une trace très brillante.

On les utilisait en triangulation spatiale en les photographiant avec des chambres munies d'obturateurs à éclipses (cadence de l'ordre de la seconde) : la trajectoire apparaissait alors sur la plaque comme une courbe en pointillé dont les traits devaient être datés avec une grande sûreté (10^{-3} seconde) si on voulait une précision de l'ordre du décimètre dans les liaisons géodésiques. Un raisonnement très grossier montre que la distance des points terrestres déterminés de cette manière est de l'ordre de grandeur de l'altitude du satellite. Les satellites Echo permettaient des liaisons de l'ordre de 1 000 à 2 000 kilomètres, le satellite Pageos, destiné à une triangulation spatiale mondiale entreprise par l'US COAST AND GEODETIC SURVEY, se prêtait à des liaisons de 4 000 à 6 000 kilomètres.

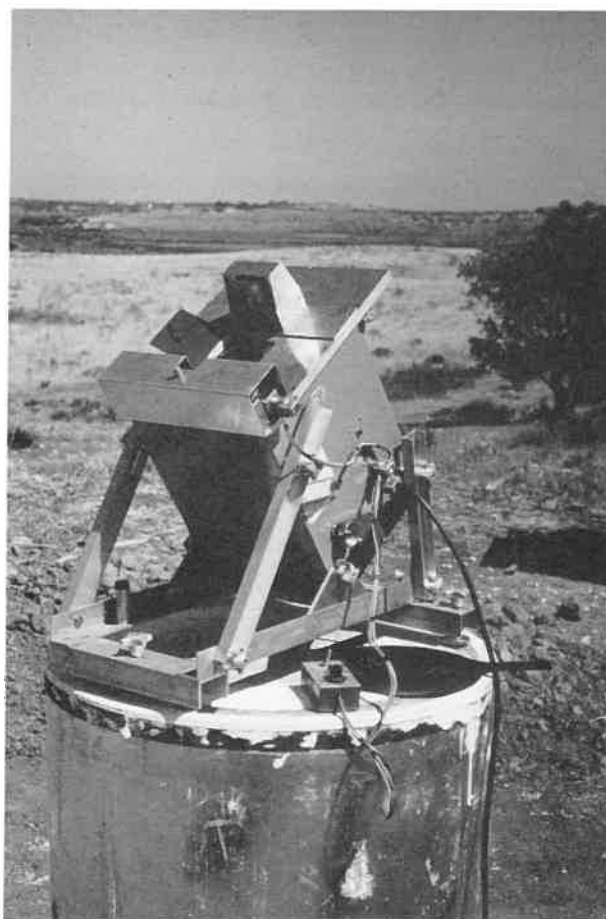


Fig. 102

Les instruments d'observation photographique étaient de types assez variés :

- les chambres "balistiques" Wild BC 4 étaient des théodolites photographiques très perfectionnés de grande ouverture $f/2,6$, diamètre d'objectif de 12 cm munis d'obturateurs permettant soit de cadencer les prises de vues (satellites passifs brillants) soit de photographier les éclairs émis par le satellite. Elles étaient montées sur limbes gradués, de précision géodésique, et pourvues de très bons niveaux,

- des chambres beaucoup plus modestes — et moins coûteuses — pourvues d'objectifs de faible ouverture relative et d'obturateurs tournants synchronisés par les signaux horaires furent utilisées par l'IGN en particulier pour l'observation des satellites Echo I et II et Pageos (fig. 102),

- les chambres BAKER-NUNN utilisées particulièrement par les équipes du Smithsonian Astrophysical Laboratory étaient de véritables télescopes à grand champ avec lesquels on pointait et poursuivait le satellite — son image recueillie sur un film était donc ponctuelle — tandis que les étoiles y apparaissaient successivement sous la forme de segments parallèles dont on rapportait l'origine à la position du satellite et à la base de temps. Il fallait évidemment disposer d'un catalogue stellaire très dense.

En fait, un certain nombre de laboratoires construisaient leur propre matériel d'observation à exemplaire souvent unique, comme par exemple la caméra "Antares" construite par P. Muller (Observatoire de Nice).

Précisions des mesures photographiques

Divers facteurs entrent en compte :

- la vitesse orbitale des satellites utilisables est de l'ordre de 7 km par seconde, si par conséquent on admet que les différentes chambres photographiques qui observent simultanément sont synchro-

nisées à 10^{-3} secondes près, une première indétermination sera de l'ordre de grandeur de quelques mètres,

- la précision des mesures sur plaques photographiques (on n'emploie pas les films trop déformables) est de l'ordre de ± 2 micromètres, pour les étoiles ou le satellite ; pour des focales de l'ordre de 30 cm, ceci implique une précision de l'ordre de $1/150\,000$, correction faite des distorsions de l'objectif, et l'emploi d'émulsions fines,

- les coordonnées des étoiles doivent être connues à mieux qu'une seconde d'arc près ($1/200\,000$) ce qui est vrai pour les étoiles fondamentales, mais peut ne l'être pas pour toutes les étoiles du champ, ce qui peut poser d'irritantes questions portant sur le choix du catalogue, sur le nombre des étoiles à faire entrer dans la mesure et sur les méthodes mathématiques d'interpolation pour y rattacher les positions observées du satellite,

- il faut également tenir compte de la réfraction différentielle entre les étoiles et le satellite, etc...

En définitive, une mesure de direction sur plaque est susceptible d'une précision de l'ordre de 10^{-5} ou mieux sur une moyenne de mesures.

D'autre part on ne sait pas très bien comment se comporte le réflecteur ballon, diffuseur ?, réflecteur parfait ?, le ballon est-il réellement sphérique ou déformé ?... le point lumineux visé dépend de la station et la phase y varie en fonction du temps ; il est donc bien difficile de définir à 3 ou 4 mètres près le point réellement visé, et ceci limite encore la précision des visées sur ballon.

Certains de ces inconvénients sont évidemment évités dans l'observation des satellites à éclairs, dont la servitude essentielle réside dans l'obligation de programmer la région où le satellite émettra ses éclairs : ce type d'observations ne peut donc être réservé qu'à l'exécution d'un programme précis, accessible aux seuls participants, mais les résultats sont bien meilleurs.

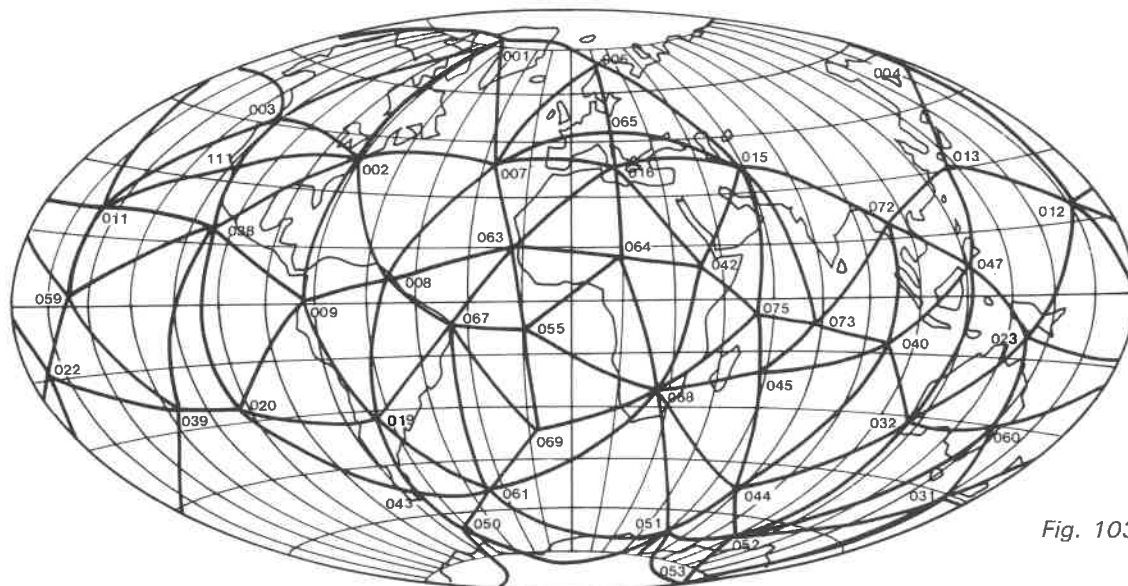


Fig. 103

— Les 45 stations du système géodésique mondial obtenu par triangulation spatiale par H. H. Schmid (d'après le *Journal of Geophysical Research*, V, 79, p. 5362, 1974, publié par l'*American Geophysical Union*).

Le réseau du Coast and Goedetic Survey

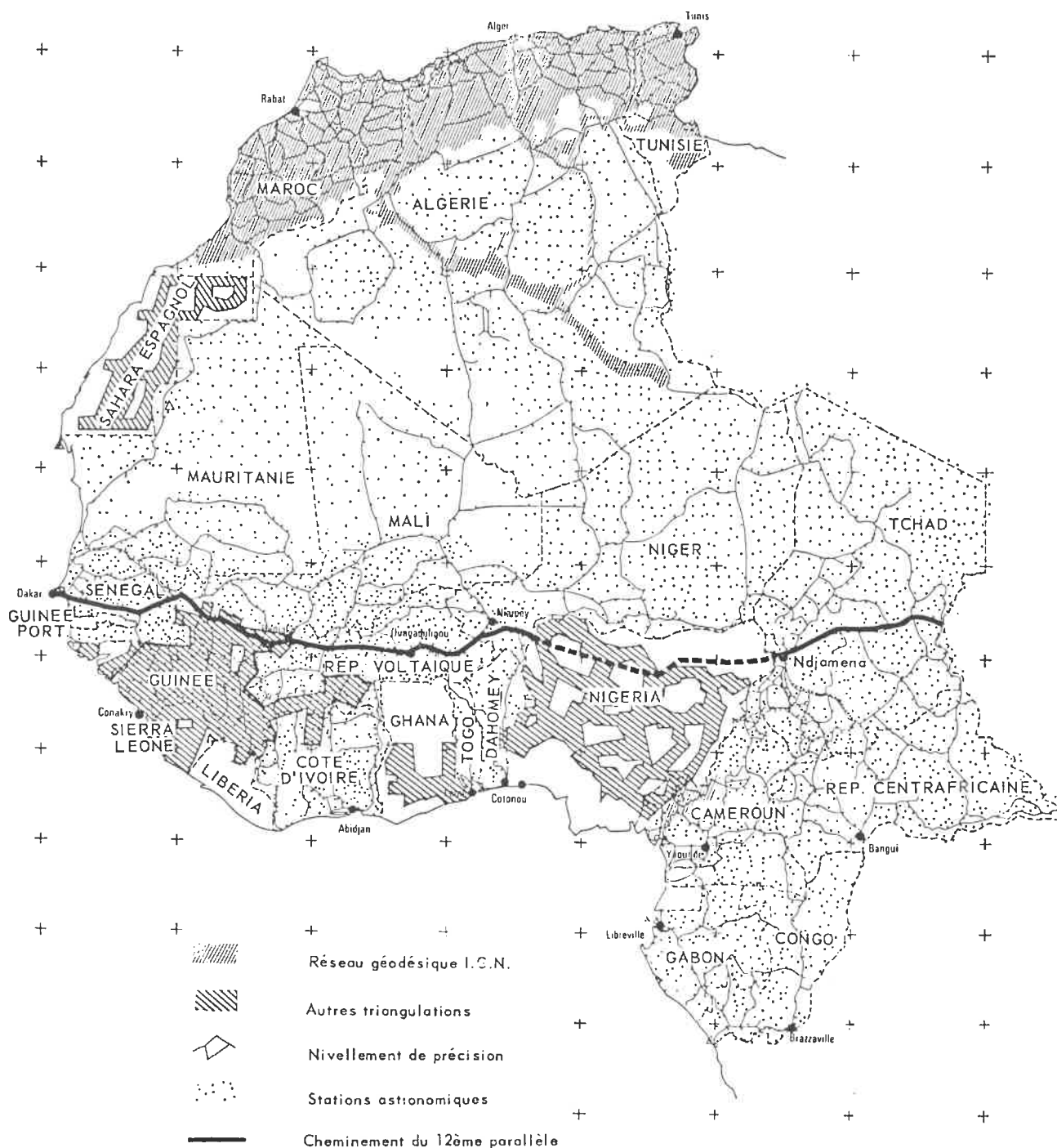
Le satellite ballon Pageos fut lancé par les Etats-Unis pour servir de cible lumineuse dans l'exécution d'un projet mondial (Fig. 103). La campagne fut préparée et menée avec le soin minutieux que l'on devine et débuta vers 1966-1967.

Les observations étaient enregistrées par des chambres balistiques BC4 de Wild placées soigneusement sous coupole de campagne.

L'échelle du réseau était assurée par un certain

nombre de très longs cheminements terrestres de l'ordre de plusieurs milliers de kilomètres, observés dans des conditions draconiennes de précision :

- les cotes de l'ordre de 20 kilomètres étaient mesurées au géodimètre et vérifiées au telluromètre, avec étalonnage constant des fréquences,
- la précision angulaire était celle du 1^{er} ordre,
- la transmission d'azimut était soutenue par de nombreuses stations d'azimut de Laplace (une sur trois ou quatre stations) avec maximum de fermeture tolérée,



- Canevas planimétrique fondamental.

Fig. 104

— en chaque station on déterminait les coordonnées astronomiques de manière à pouvoir calculer les altitudes d'un géoïde.

La Fig. 104 représente le cheminement du 12^e parallèle, de N'Djamena à Dakar ; observé par l'IGN sauf la partie traversant le Nigeria.

La précision du réseau (U.S.C.G.S) est excellente — environ deux fois meilleure que celle des travaux IGN correspondants (voir plus loin), celle des coordonnées est de l'ordre de ± 10 m et on en a déduit un ellipsoïde terrestre de demi-grand arc 6.378 128 m bien voisin des valeurs admises pour la référence internationale 1980.

Ce réseau de stations peut d'autre part constituer un réseau de poursuite précis, comparable aux réseaux dynamiques et indépendant de toute hypothèse.

Ce travail peut être considéré comme le couronnement de la géodésie géométrique.

GEODESIE DYNAMIQUE

Au-delà des lois de Képler, le mouvement du satellite est perturbé : le potentiel terrestre est de la forme (r distance du satellite au centre des masses terrestres) :

$$W = \frac{GM}{r} \left[1 + \frac{y_2}{r^2} + \dots + \frac{y_n}{r^n} + \dots \right]$$

où les quantités y_n sont les "fonctions sphériques" : chaque y_n est une combinaison linéaire précise de $(2n + 1)$ fonctions des lignes trigonométriques de la latitude et de la longitude terrestres. Leur théorie a été établie par Legendre et Laplace pour étudier précisément le champ de gravité des planètes et de la terre en particulier.

Comparée à l'orbite théorique du satellite décrite selon les lois de Képler, c'est-à-dire selon le terme GM/r du potentiel, l'observation met en évidence des discordances systématiques attribuables au potentiel perturbateur et à d'autres causes physiques : attraction perturbatrice luni-solaire, marées de l'océan et de l'écorce, frottement atmosphérique, pression de radiation solaire qui sont très loin d'être négligeables.

Si l'on représente toutes ces actions sous forme de développements mathématiques le problème revient à identifier les coefficients (inconnus), des monômes trigonométriques puis à résoudre les énormes systèmes numériques dont ils sont solutions.

La mécanique céleste est évidemment à la base de tous les calculs, mais le travail ne peut guère avancer que pas à pas, par approximations successives, vu l'extrême imbrication des actions individuelles qui parfois se séparent mal.

Heureusement, l'expérience a montré que les coefficients des fonctions y_n décroissent en fonction de n , ce qui permet (en calcul) d'isoler plus facilement les termes principaux, et de tronquer les développements à un ordre raisonnable.

La théorie du mouvement d'un satellite gravitant est certainement complexe, les calculs de mécanique céleste ont un aspect rébarbatif que les non

spécialistes mettent un certain temps à ingurgiter. Il faut d'autre part que les éléments initiaux des satellites étudiés se prêtent à la mise en évidence des coefficients numériques du développement, autrement dit que tel écart à l'orbite théorique soit susceptible de ne caractériser qu'un petit nombre d'influences : l'étude du champ de gravitation implique donc une grande variété de données initiales, inclinaison de lancement, altitude de lancement, direction spatiale de la vitesse initiale, etc... Les satellites de haute altitude seront surtout sensibles aux premiers harmoniques du développement, ceux de basse altitude sont sensibles aux variations à courte période du champ mais sont perturbées par le frottement atmosphérique, qui dépend lui-même de l'activité solaire...

Les pionniers de l'étude du mouvement des satellites artificiels furent Brouwer, Kozaï, Ishak, Gaposhkin, Anderlé, aux Etats-Unis, en URSS, Axionov et l'Institut d'Astronomie Théorique de Leningrad, en Grande-Bretagne King-Hele, G.E. Cook, en France les astronomes J. Kovalesky (62), B. Morando (Bureau des Longitudes) (63), et les personnels spécialistes du Centre National d'Etudes Spatiales et de l'ONERA. Les géodésiens de l'IGN n'étaient initialement pas préparés à ces problèmes dont la nouveauté et l'intérêt attirèrent vers la géodésie française des vocations et des énergies nouvelles, pour son plus grand bien.

Les éléments fondamentaux

La description du mouvement d'un satellite artificiel repose essentiellement sur une procédure d'approximations successives : la première approximation permet de définir une orbite spatiale képlérienne moyenne (ellipse, loi des aires, plan de l'orbite, dimensions, positions dans le plan orbital).

Le système d'axes de référence est celui d'un catalogue stellaire établi pour une date donnée (en général 1950,0). L'équateur de ce catalogue ($\delta(1950,0) = 0$) est le plan xoy , le point O est le centre des masses terrestres et le point vernal de l'époque définit la direction ox ($\alpha(1950,0) = 0$).

Par rapport à ce système d'axes, les caractéristiques de l'orbite sont :

- l'inclinaison i du plan de l'orbite,
- l'angle Ω , position de l'intersection du plan orbital avec ox : $\Omega = Ox, ON$,
- dans ce plan, la direction du sommet P , le plus proche de O , de l'ellipse képlérienne (périgée) est définie par l'angle $\omega = ON, OP$.

Le demi-grand axe de l'ellipse est a , son excentricité e .

La liaison entre la description géométrique de l'orbite et le temps est la variable $M = n(t - t_0)$ où n est le moyen mouvement et t_0 l'instant du passage du satellite au périgée, on pose souvent $M_0 = nt_0$.

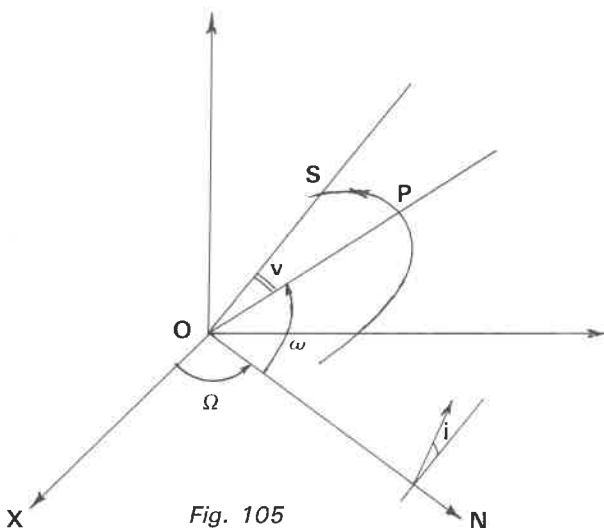
La liaison entre la position du satellite sur son orbite et le temps t est assurée par les définitions suivantes :

$$n = 2\pi/T$$

$$GM = 4\pi^2 a^3/T^2 \quad n = \sqrt{GM/a^3} \text{ (3e loi de Képler)}$$

En définitive 5 quantités définissent à un instant donné la géométrie de l'orbite spatiale du satellite.

a, e demi grand axe et excentricité de l'ellipse orbite,
i, inclinaison du plan, Ω l'ascension droite du nœud ascendant,
 ω argument de la latitude du périégée.



La liaison avec la variable temps implique la connaissance de l'instant t_0 de passage au périégée et la connaissance de la constante GM ou de la période T du satellite. Tous les éléments étant ainsi déterminés on peut calculer à un instant t par un calcul analytique simple les coordonnées spatiales théoriques x, y, z et celles du vecteur vitesse x, y, z (62).

Inversement si l'on observe à partir d'une station terrestre (de coordonnées topocentriques connues par rapport au centre O) n positions successives du satellite ($n > 3$) en ascension droite et déclinaison, rapprochées dans le temps (environ 5 minutes), on peut en déduire à l'instant moyen, les coordonnées géocentriques x, y, z, la vitesse x, y, z du satellite ainsi que la distance satellite observateur (méthode de Laplace) et en tirer les 6 éléments a, e, i, Ω , ω , t_0 (62).

Perturbations

Les 6 éléments de l'orbite seraient invariants, à la précision des observations près, si la terre était à symétrie rigoureusement sphérique ; il n'en n'est rien et si l'on répète le calcul précédent sur d'autres données d'observation les 6 éléments considérés varient dans le temps de manière continue ; on enregistre des variations périodiques ou des dérivées fonction du temps, que l'on compare à leurs expressions algébriques tirées de l'analyse mathématique des causes perturbatrices, en particulier le potentiel terrestre, ce qui revient à dire que a, e, i, Ω , ω , t_0 varient en fonction du temps.

La constante GM de gravitation du potentiel terrestre a été déterminée par l'étude du mouvement

des sondes spatiales lorsqu'elles s'éloignent de la terre et par conséquent ne sont pratiquement plus sujettes qu'au 1^{er} terme du potentiel terrestre (et au potentiel lunaire), c'est ainsi qu'on a proposé pour elle des valeurs de l'ordre de (1984).

$$GM = 3986005 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{sec}^2 \text{ (S.I.)}$$

Gauss et Lagrange avaient donné dès le début du XIX^e siècle, des formulaires exprimant les variations des 6 éléments de l'orbite képlérienne

$$\left(\frac{da}{dt}, \frac{de}{dt}, \frac{di}{dt}, \frac{d\Omega}{dt}, \frac{d\omega}{dt}, \frac{dM_0}{dt} \right) \text{ en fonction :}$$

— soit des forces perturbatrices, c'est-à-dire des forces qui ne sont pas forcément contenues dans la description képlérienne (Gauss) et qui peuvent être de nature quelconque,

— soit des dérivées partielles du potentiel perturbateur par rapport aux 6 variables képlériennes (Lagrange), qui ne contiennent pas par exemple le frottement atmosphériques.

Nous ne nous hasarderons pas dans les très longs calculs de mécanique céleste que le lecteur trouvera en détail en (62), (63), (65). Nous donnons seulement ci-dessous le tableau des équations de Lagrange tiré de (62) où R désigne la fonction perturbatrice, c'est-à-dire, la partie du potentiel : $R = W - GM/r$.

$$\frac{da}{dt} = \frac{2}{na} \frac{\partial R}{\partial M}$$

$$\frac{de}{dt} = \frac{1-e^2}{na^2 e} \frac{\partial R}{\partial M} - \frac{\sqrt{1-e^2}}{na^2 e} \frac{\partial R}{\partial \omega}$$

$$\frac{di}{dt} = \frac{\cos i}{na^2 \sqrt{1-e^2} \sin i} \frac{\partial R}{\partial \omega} - \frac{1}{na^2 \sqrt{1-e^2} \sin i} \frac{\partial R}{\partial \Omega}$$

$$\frac{d\Omega}{dt} = \frac{1}{na^2 \sqrt{1-e^2} \sin i} \frac{\partial R}{\partial i}$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{\sqrt{1-e^2}}{na^2 e} \frac{\partial R}{\partial e} - \frac{\cos i}{na^2 \sqrt{1-e^2} \sin i} \frac{\partial R}{\partial i}$$

$$\frac{dM}{dt} = n - \frac{2}{na} \frac{\partial R}{\partial a} - \frac{1-e^2}{na^2 e} \frac{\partial R}{\partial e}$$

Sa simple lecture montre que R doit être exprimée en fonction des 6 éléments orbitaux (calculs algébriques assez fastidieux). D'autre part M, Ω , ω étant des angles, intervenant par leurs lignes trigonométriques, les quantités

$$\frac{da}{dt}, \frac{de}{dt}, \frac{di}{dt}$$

s'exprimeront en fonction périodiques de Ω , ω , M : a, e, i, oscilleront donc autour d'une valeur moyenne finie, tandis que les termes

$$\frac{d\Omega}{dt}, \frac{d\omega}{dt}, \frac{dM}{dt}$$

étant fonction des a, e, i, pourront avoir une partie constante, ce qui donnera pour Ω , ω , M, une dérive proportionnelle au temps. Enfin la connaissance d'élément approchés, a, e, i, Ω , ω , t_0 et celle de leurs dérivées $\frac{da}{dt}, \frac{de}{dt}, \frac{di}{dt}, \frac{d\Omega}{dt}, \frac{d\omega}{dt}, \frac{dM}{dt}$ va permettre de calculer à un instant donné une position correcte du satellite perturbé, puisque l'on peut calculer les valeurs pré-

cises des éléments instantanées $a, e, i, \Omega, \omega, \tau$ en calculant les dérivées dont on connaît l'expression, et en les intégrant dans le temps en appliquant le formulaire képlérien.

Harmoniques zonales, tesseraux, sectoriaux

Dans l'expression du potentiel perturbateur, chaque terme Y_n contient $2n + 1$ fonctions des lignes trigonométriques de la latitude géocentrique φ et de la longitude L .

Chacun d'entre eux est de la forme (q variant de 0 à n).

$J_n q P_n q (\sin \varphi) \cos q (L - L_0)$ ou encore $P_n q (\sin \varphi) (C_n q \cos q L + S_n q \sin q L)$ est une fonction connue, définie par n et q (Legendre), $J_n q$ un coefficient numérique (inconnu). On appelle harmoniques **zonaux**, ceux pour lesquels $q = 0$; ils sont indépendants de la longitude, harmoniques **tesseraux** ceux pour lesquels $0 < q < n$ qui dépendent à la fois de la latitude et de la longitude, harmonique **sectorial**, celui pour lequel, $q = n$; il ne dépend que de la longitude.

Déterminer les $J_n q$ et $L_n q$ (ou $C_n q, S_n q$) est un des problèmes essentiels de l'analyse harmonique des perturbations. S'il est résolu, au moins jusqu'à un certain degré, le champ spatial W sera connu à cette précision, ce qui permettra de définir à chaque instant, la position des satellites avec toutes les conséquences qui en résultent pour les problèmes de navigation et de localisation dans un référentiel terrestre général, répondant ainsi à une question que les géodésiens se posaient depuis longtemps comme on l'a vu. D'autre part si l'on ajoute à W le potentiel centrifuge $1/2 \omega^2 r^2 \cos^2 \varphi$ et si l'on

$$\text{pose } W + \frac{1}{2} \omega^2 r^2 \cos^2 \varphi = \text{Constante}$$

au voisinage de la terre cette expression représente — sous quelques réserves mathématiques — une surface de potentiel constant, c'est-à-dire le géoïde.

A titre d'exemple très simple, le potentiel du sphéroïde de Clairaut s'écrit

$$W = G \left[\frac{M}{r} + \frac{1 - 3 \sin^2 \varphi}{2r^3} \times (C - A) \right] + \frac{1}{2} \omega^2 r^2 \cos^2 \varphi$$

dans cette expression le terme $\frac{3 \sin^2 \varphi - 1}{2}$ est un

polynôme de Legendre et ce potentiel s'écrit, posant $J_{2,0} = (C - A)/Ma^2$

$$W = \frac{GM}{r} \left[1 - J_{2,0} \frac{a^2}{r^2} \times P_2 (\sin^2 \varphi) \right] + \frac{1}{2} \omega^2 r^2 \cos^2 \varphi$$

$J_{2,0}$ est le coefficient numérique de l'harmonique zonal du 2^e degré, c'est lui qui combiné avec le terme du potentiel centrifuge détermine l'aplatissement du sphéroïde de référence par

$$\alpha = \frac{3}{2} J_{2,0} + \frac{1}{2} m \quad (1^{\text{re}} \text{ question de Clairaut}).$$

D'une manière plus générale les harmoniques zonales décrivent le potentiel d'une surface de révolution dont la méridienne et la distribution des masses seraient plus complexes que celles du sphéroïde de Clairaut.

A chaque révolution, le satellite subit de manière répétitive l'influence de ces harmoniques, selon son

inclinaison, son altitude, son excentricité, quel que soit l'angle Ω . L'accumulation de ces effets sera mise en évidence par l'observation, en particulier celle des dérives.

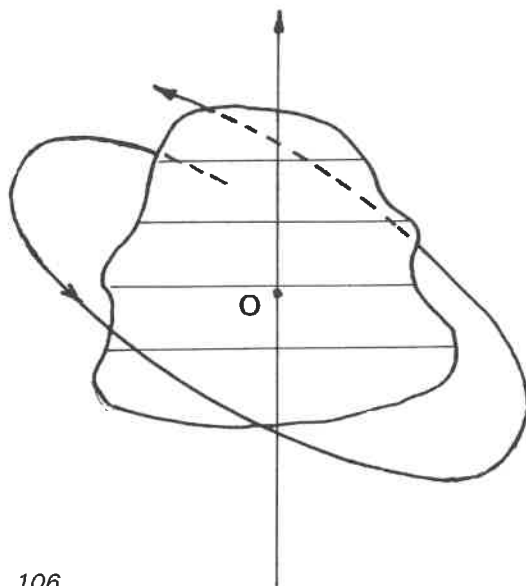


Fig. 106

Les harmoniques zonales d'ordre pair (polynômes de Legendre) ont une composante symétrique dans les deux hémisphères : $P_n (\sin^2 \varphi)$ alors que les harmoniques zonales impairs ont le signe de $\sin \varphi$: $P_{2n+1} (\sin \varphi)$: ils entraînent donc une dissymétrie hémisphère nord, hémisphère sud dans les dérives ou les variations des éléments moyens ; c'est précisément ce qui permet de séparer leurs actions de celles des harmoniques pairs, et toutes ces actions sont indépendantes de la rotation terrestre.

L'action des harmoniques tesseraux est beaucoup plus difficile à mettre en évidence et on a longtemps considéré qu'elle agissait comme un bruit : elle dépend en effet de dissymétries du potentiel (ou de l'attraction) fonctions de la latitude et de la longitude, très variables d'un point à l'autre de la terre dues à des variations du relief, des densités internes au sens large etc... mais il existe un cas où de telles actions peuvent être mises en évidence, c'est le cas de la résonance : supposons que la période d'un satellite soit un sous multiple presque exact de 24 heures. Toutes les 24 heures il survolera les mêmes régions, dont les actions combinées influenceront de même manière sur son orbite : il y aura donc un effet cumulatif observable caractérisant un $J_n q$ et un $L_n q$ significatif.

Inutile de préciser que les expressions permettant de calculer les J_n sont très complexes.

Dès 1958, on savait que l'aplatissement $1/297$ de la référence géodésique internationale devait être révisé ; en toute première approximation les premiers calculs montraient que l'orbite du satellite pouvait se déduire de celle d'une ellipse moyenne :

— dont le plan serait animé autour de l'axe des pôles d'un mouvement de rotation uniforme (facteur $d\Omega/dt$),

— dont la ligne des apsides (grand axe) tournerait dans ce plan avec une vitesse angulaire uniforme (facteur $d\omega/dt$).

La mécanique céleste donne pour ces deux quantités les valeurs respectives

$$\frac{d\Omega}{dt} = - \frac{3}{2} \frac{nR^2 \cos i}{a^2 (1 - e^2)^2} J_{2,0}$$

$$\frac{d\omega}{dt} = 3n R^2 \frac{(3 - 15/4 \sin^2 i)}{a^2 (1 - e^2)^2} J_{2,0}$$

où R est le rayon terrestre, a le $1/2$ grand axe de l'ellipse képlérienne ; e l'excentricité de l'orbite, n le moyen mouvement, i l'inclinaison de l'orbite sur l'équateur et $J_{2,0}$ le coefficient numérique intervenant dans l'équation de Clairaut comme on vient de le voir.

L'interprétation des observations donnait pour J_2 des valeurs comprises entre 1082.1×10^{-6} et 1082.7×10^{-6} , l'aplatissement était donc de l'ordre de $1/298.2$, valeur voisine de celle trouvée par Helmert (1901) et par Isotoff (URSS-1942) pour l'ellipsoïde dit de Krassovsky, à partir de l'analyse de la pesanteur et des arcs connus.

Le coefficient $J_{2,0}$ actuellement évalué à 1082.63×10^{-6} est un nombre pur. C'est de loin le plus grand des J_{nq} , il correspond à

$$\alpha = 1/298.257$$

Les autres J sont de l'ordre de quelques 10^{-6} .

Pour montrer la complication réelle des calculs algébriques nous reproduisons selon (62) un tableau exprimant les valeurs de $\frac{d\Omega}{dt}$ en fonction des coefficients J_{2n} jusqu'à l'ordre 10, en attirant l'attention du lecteur sur le fait que ces formules ne contiennent qu'une partie des termes nécessaires (il n'y a aucun terme J d'ordre impair, ni action luni-solaire, ni etc...).

a, e, i , les valeurs moyennes des éléments métriques,

$$p = a(1 - e^2),$$

$$s = \sin i,$$

$$n = \sqrt{GM/a^3}.$$

$$\begin{aligned} \frac{d\Omega}{dt} = & -\frac{3}{2} J_2 \frac{nR^2}{p^2} \cos i \\ & + J_2 \frac{nR^4}{p^4} \cos i \left[\left(-\frac{45}{8} + \frac{3e^2}{4} + \frac{9}{32} e^4 \right) + \left(\frac{57}{8} - \frac{69}{32} e^2 - \frac{27}{64} e^4 \right) s^2 \right] \\ & + J_4 \frac{nR^4}{p^4} \cos i \left(\frac{15}{4} - \frac{105}{16} s^2 \right) \left(1 + \frac{3e^2}{2} \right) \\ & + J_6 \frac{nR^6}{p^6} \cos i \left(-\frac{105}{16} + \frac{945}{32} s^2 - \frac{3465}{128} s^4 \right) \left(1 + 5e^2 + \frac{15}{8} e^4 \right) \\ & + J_8 \frac{nR^8}{p^8} \cos i \left(\frac{315}{32} - \frac{10395}{128} s^2 + \frac{45045}{256} s^4 - \frac{225225}{2048} s^6 \right) \\ & \quad \times \left(1 + \frac{21}{2} e^2 + \frac{105}{8} e^4 + \frac{35}{16} e^6 \right) \\ & + J_{10} \frac{nR^{10}}{p^{10}} \cos i \left(-\frac{3465}{256} + \frac{45045}{256} s^2 - \frac{675675}{1024} s^4 \right. \\ & \quad \left. + \frac{3828825}{4096} s^6 - \frac{14549535}{32768} s^8 \right) \\ & \quad \times \left(1 + 18e^2 + \frac{189}{4} e^4 + \frac{105}{4} e^6 + \frac{315}{128} e^8 \right) \\ & + \dots \end{aligned}$$

L'étude détaillée des observations, poursuivie pendant plusieurs années sur une gamme variée

d'inclinaison des satellites permet de poser les termes constants des relations d'observation et de résoudre en J_{nq} les systèmes numériques qui en résultent (des dizaines de milliers d'observations, des centaines d'inconnues).

La Standard Earth 1966

C'est en 1966 que la Smithsonian Astrophysical Observatory publia le premier travail d'ensemble définissant à la fois un champ spatial résultant de l'observation suivie de 10 satellites et les coordonnées géocentriques d'un certain nombre de stations mondiales exprimées dans un système général cohérent, compatible avec ce champ.

On pourrait croire a priori qu'il y a un cercle vicieux puisque les valeurs numériques des termes du potentiel ont été déterminées à partir d'observations issues de stations supposées connues en position. En réalité un certain nombre d'éléments J , en particulier les harmoniques zonaux, ne dépendent pas de la longitude des stations d'observation : ils sont donc bien définis a priori, et l'on a constaté que l'étude des résidus d'un modèle de potentiel donné, aussi complet que possible, permettait d'y séparer les corrections dx, dy, dz des coordonnées approchées des autres inconnues, en particulier des J_{nq}, L_{nq} tesseraux, ce qui permet également le calcul d'un certain nombre de ces derniers, à conditions que le réseau d'observation des stations soit suffisamment dense.

A titre de curiosité disons que la Standard Earth 1966 du SAO était le résultat de calculs portant sur 34775 relations d'observation.

Elle comportait outre les harmoniques zonaux, les harmoniques tesseraux (avec des lacunes) jusqu'à l'ordre 15, ainsi que les coordonnées des 12 stations de base du réseau d'observation SAO (chambre Baker-Nunn).

C'était le premier exemple de réseau mondial cohérent.

Localisation par effet Doppler

Si l'on enregistre à terre la fréquence reçue d'un satellite pourvu d'un émetteur stable, par suite du mouvement relatif de la source et de l'observateur, on enregistrera une fréquence variable en fonction du temps, la fréquence augmentant lorsque le satellite approche et diminuant lorsqu'il s'éloigne de l'observateur. Ce phénomène est extrêmement sensible et mesure à chaque instant t la vitesse radiale relative de la source et de l'observateur, autrement dit (théoriquement du moins).

$$\frac{d}{dt} [(x_s - x_o)^2 + (y_s - y_o)^2 + (z_s - z_o)^2]^{1/2}$$

x_s, y_s, z_s coordonnées du satellite à l'instant t
 x_o, y_o, z_o coordonnées terrestres du récepteur.

Si par conséquent on connaît à l'instant t la position précise du satellite, x_s, y_s, z_s , on peut écrire une équation contenant les coordonnées x_o, y_o, z_o inconnues de la station, dont on connaît toujours par ailleurs une position approchée.

Pratiquement la mesure revient à un comptage de cycles N d'un dispositif hétérodyne du récepteur, entre les instants $t'1$ et $t'2$ de celui-ci ; si f_r

est la fréquence propre du récepteur, f_s celle du satellite, l'équation de principe s'écrit sous une forme intégrée entre t_2 et t_1 (temps satellite).

$$(f_r - f_s) N = (f_r - f_s) (t'_2 - t'_1) + \frac{f_s}{c} (\rho_2 - \rho_1) + DN$$

c vitesse de propagation, DN une correction de propagation dans l'ionosphère et la troposphère, ρ_2 et ρ_1 les distances satellite station à t_2 et t_1 (temps satellite), les coordonnées de la station interviennent dans la quantité $(\rho_2 - \rho_1)$.

On montre que la correction de propagation peut s'éliminer à condition de combiner la réception de 2 fréquences, en l'occurrence pour les satellites Transit 400 et 150 mégahertz qui correspondent à deux fréquences f_{r1} , f_{r2} du récepteur dans le même rapport.

Le satellite émet également des messages codés qui permettent, à la réception, de calculer une valeur très correcte de sa position : ils contiennent en particulier les 6 éléments d'orbite a , e , i , Ω , ω , t_0 , ainsi que leurs variations dans le temps d'où l'on déduit sa position par calcul des éléments osculateurs à l'instant voulu et calcul des coordonnées rectangulaires correspondantes.

Ces éléments sont déterminés par les observations quotidiennes d'un certain nombre de stations de poursuite puis centralisés en un centre unique de calcul et injectés dans la mémoire du satellite à la place des anciens.

Ce système idéal pour la navigation et la localisation, est universellement utilisé ; des logiciels spéciaux sont à la disposition des acquéreurs du matériel de réception.

Les satellites Transit au nombre minimum de quatre gravitent selon des orbites polaires de très faible excentricité à une altitude de l'ordre de 1 000

kilomètres. Le système est placé sous la responsabilité de l'US Navy, qui évidemment pourrait en cas d'urgence en rendre l'emploi inintelligible.

Telle quelle, c'est la méthode de navigation ou de localisation par excellence, si l'on se contente d'une précision moyenne de l'ordre d'une vingtaine de mètres par l'observation de 4 ou 5 passages ; les résultats s'expriment évidemment dans un système mondial de coordonnées de référence dont les éléments ont pu légèrement varier au cours des temps, par exemple :

$$a = 6\,378\,155 \text{ m} \quad \alpha = 1/298.2600 \text{ (vers 1970)}$$

$$a = 6\,378\,145 \text{ m} \quad \alpha = -d^\circ \text{ (vers 1980)}$$

Au point de vue de la géodésie on peut aller plus loin, à condition d'utiliser des éphémérides plus précises pour lesquelles il faut s'adresser à des organismes spécialisés.

En dehors de ses applications à localisation, le satellite Transit peut être un excellent détecteur d'harmoniques zonaux et tesseraux.

TRAVAUX FRANÇAIS

1 — Géodésie géométrique

Travaux de l'Institut Géographique National

Dès les premiers lancements, le directeur de l'IGN créait un petit groupe d'études, chargé d'explorer les perspectives qu'ouvraient les satellites artificiels à l'exécution des travaux de vocation de l'établissement.

Ce groupe proposa la détermination de liaisons géodésiques lointaines par triangulation spatiale, sur le satellite Echo 1, récemment lancé. Les premiers essais (1961) entrepris à l'aide de chambres de fortune, furent assez médiocres, ils eurent du

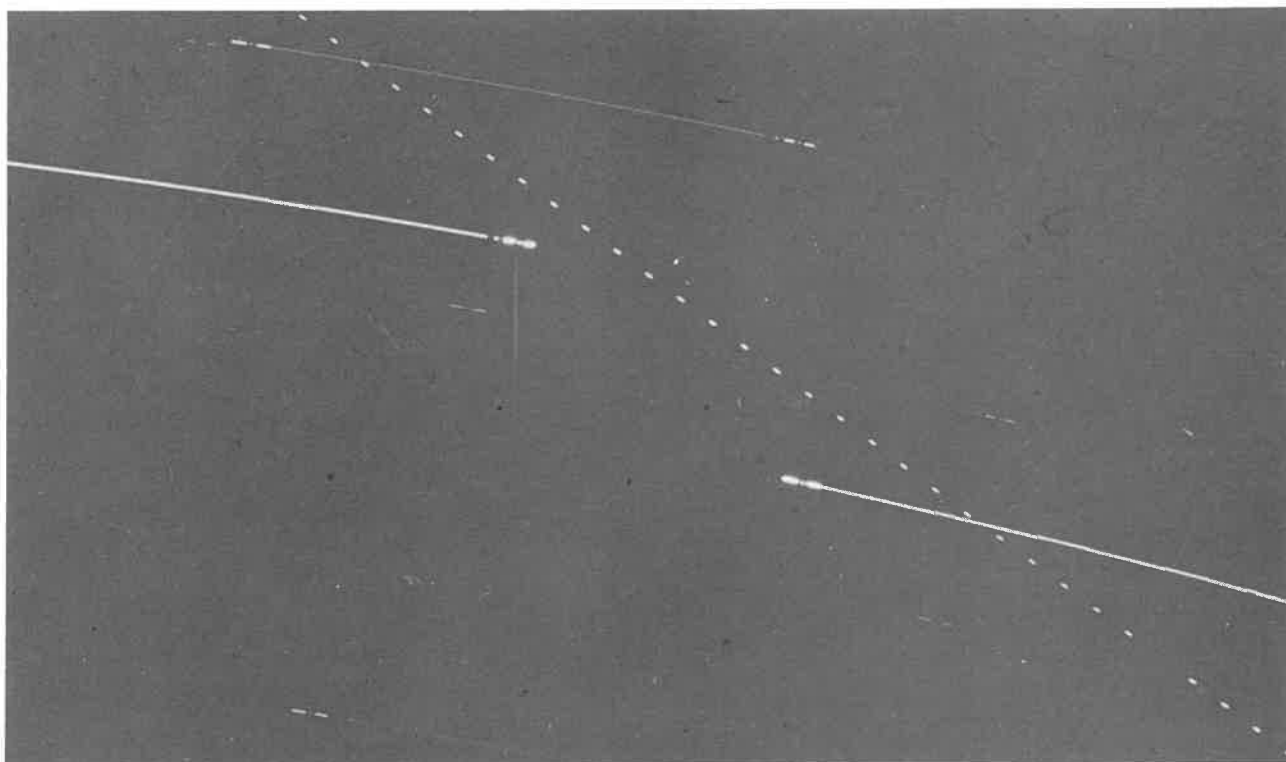


Fig. 107

moins le mérite de permettre la mise au point des procédures d'observation et de montrer les points faibles du matériel et des méthodes de calcul.

On fit construire de nouvelles chambres balistiques et on acquit un comparateur spécial (Zeiss Jena) donnant à peu près la précision du micron.

Une campagne d'observations correspondait à un projet précis : les stations d'observation étant déterminées, le service des calculs de l'IGN entretenait avec les opérateurs des contacts étroits par courrier ou télégramme :

— pendant toute la durée de la campagne, il calculait et communiquait à chaque station, en fonction d'un plan de travail assez souple évoluant suivant les résultats précédents, les éléments de calage des observations : heures T.U., azimut, hauteur de l'axe de visée ; inversement, les stations rendaient compte quotidiennement du succès de l'exécution ; ceci assurait au projet une structure géométrique satisfaisante, que le service des calculs pouvait en connaissance de cause modeler selon les besoins. La campagne était terminée lorsque l'ensemble des déterminations définissait correctement la géométrie du polyèdre.

L'observation complète d'un passage durait une dizaine de minutes au plus ; la caméra était solidement établie sur son pilier et mise en équilibre thermique bien avant l'apparition du satellite, on encadrait le passage proprement dit de celui-ci par deux photographies du même fond stellaire, prises à un instant parfaitement précis (signaux horaires) soigneusement noté : ceci définissait les directions stellaires spatiales (p, q, r) du champ d'étoiles photographiées par la caméra (fig. 107) ;

— la synchronisation des stations était assurée par les signaux horaires, de manière à assurer la simultanéité des pointés, l'important étant de définir des directions spatiales cohérentes sur tout le réseau à 10^{-3} seconde de temps.

Au retour de mission, les plaques (il y en avait des centaines) étaient passées au comparateur, étoiles et traits satellites ; un traitement numérique permettait de passer des coordonnées plaque aux directions spatiales dans le référentiel terrestre des stations : le lecteur en trouverait les détails dans (21, IV).

Après les mises au point du début, un certain nombre d'opérations purent ainsi être entreprises par l'IGN :

— à titre de vérification une liaison France-Algérie (subventionnée par le CNES), (1963)

— à titre d'extension, en liaison avec le Service Géographique du Portugal, une liaison directe continent-archipel des Açores (satellite Echo), (1965)

— une participation à une expérience à longue portée, montée par le CNRS (RCP 133) où l'IGN assurait une liaison entre l'Europe et l'Afrique aux stations de Dakar et Fort-Lamy (N'Djamena) par observation du satellite Pageos, et où d'autres méthodes entraient en jeu (1967).

Les méthodes géométriques spatiales opèrent dans l'espace à trois dimensions : le polyèdre défini est celui des sommets terrestres ; on peut donc,

en retranchant l'altitude du point, obtenir les coordonnées d'un point du géoïde. Inversement les éléments de départ d'une triangulation spatiale doivent être ramenés à la surface terrestre, ce qui implique la connaissance du géoïde et de l'altitude en tous ces points.

Nous donnons ci-après les résultats de la jonction France-Algérie qui, appartenant au même réseau géodésique (Europe 50), permettaient une vérification assez complète bien que le géoïde n'ait pu alors y être calculé que de manière précaire faute de données suffisantes.

Les sommets intéressés étaient :

- en France : Lacanau près d'Arcachon, Agde, Oletta (Corse, région de Bastia),
- en Algérie : Hammaguir, Ouargla (fig. 108).

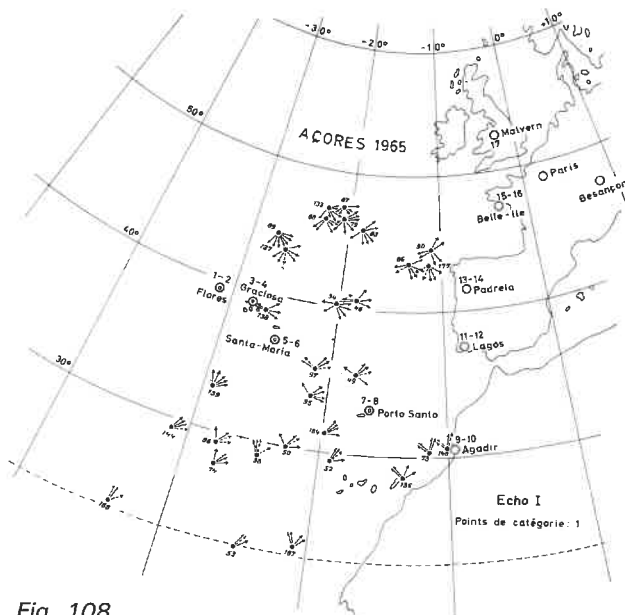


Fig. 108

	1 Oletta	2 Agde	3 Lacanau	4 Ouargla	5 Hammaguir	
Oletta.	*	312,3707,10	323,3657,20	219,6721,93	249,2169,11	Azimuths
	S	02,38	58,19	23,67	68,86	
	*	107,9308,40	115,2334,08	17,0024,70	40,9096,04	Azimuths
1	S	03,70	34,29	26,06	95,71	
		484,184,1	888,604,5	1 232,645,8	1 699,842,0	Distances
		182,6	610,6	650,5	839,3	
Agde	*		331,5492,57	190,8647,20	227,6843,86	Azimuths
	S		96,95	50,20	44,59	
	*		127,9146,67	3921680,24	23,2734,09	Azimuths
2	S		50,16	82,82	34,76	
	*		420,407,7	1 270,247,4	1 491,208,9	Distances
	S		417,4		204,7	
Lacanau	*			173,5505,65	207,2140,75	Azimuths
	S			05,65	37,06	
	*			378,1501,61	5,9437,27	Azimuths
3	S			01,89	34,19	
	*			1 555,721,3	1 571,977,8	Distances
	S			728,0	977,9	
Ouargla				*	293,2618,82	Azimuths
				S	21,82	
				*	88,3611,65	Azimuths
4				S	14,96	
					811,352,5	Distances
					345,2	

* valeur par la triangulation classique. — distances en mètres.

S valeur par la triangulation spatiale. — azimuths en grades.

	Triangulation classique	Triangulation satellite	Δ
Oletta	4 639,113,45	4 639,104,91	— 8,54
	764,588,58	764,585,61	— 1,97
	4 296,137,67	4 296,134,08	— 3,59
Agde (origine)	4 640,374,31		0
	283,672,31		0
	4 352,282,36		
Lacanau	4 516,066,69	4 516,055,18	— 11,51
	— 94,246,80	— 94,244,37	— 7,57
	4 488,177,22	4 488,175,61	— 1,61
Ouargla	5 393,662,31	5 393,651,18	— 9,13
	510,808,43	510,801,91	— 6,52
	3 355,038,70	3 355,030,31	— 8,41
Hammaguir	5 471,590,45	5 471,575,27	— 14,82
	— 290,633,99	— 290,634,06	— 0,07
	3 255,488,81	3 255,483,04	— 5,77

Mais les jours de la triangulation spatiale étaient comptés : d'autres méthodes globalement moins onéreuses, de maniement plus facile, beaucoup plus précises, faisaient leur apparition.

Si l'on considère les résultats du rattachement des Iles Açores (fig. 106), les observations photographiques des satellites Echo furent traitées par 5 méthodes différentes, en particulier en ce qui concernait le groupement des observations.

Elles donnèrent les résultats suivant (coordonnées UTM, altitude du géoïde).

	E	N	h
1	661 212,61	4 368 548,19	— 12,0
2	199,22	548,42	— 24,3
3	205,91	548,33	— 17,8
4	181,31	554,48	— 21,9
5	173,76	552,93	— 26,7

pour le pilier astronomique de Flores.

La liaison fut reprise ultérieurement par liaison "Doppler" : on trouva :

1	661 163,31	4 368 556,19	— 29,1
2	164,51	557,03	— 33,3
3	168,34	550,25	— 26,7

La solution n° 5 (A. Fontaine) la plus élaborée, était proche des résultats Doppler alors inconnus, mais les avantages des méthodes nouvelles sautaient aux yeux. D'autre part Echo 1 et Echo 2 chutèrent et ne furent pas remplacés.

La liaison France-Afrique (1967) fut la dernière application française de triangulation spatiale, quant à Pageos il continuait sa course, désormais à peu près inutile.

Télémétrie Laser

A la même époque une équipe du Laboratoire d'Aéronomie du CNRS (Prof. J. Blamont) mettait au point un télémètre à Laser permettant de mesurer la distance instantanée de la station à un satellite muni de prismes rétroreflecteurs par mesure du temps de propagation aller-retour d'un train lumineux très court (R. Bivas, J. Gaignebet). Elle était suivie quelque temps après par une équipe de l'ONERA (Taillez-Moreau).

La source lumineuse était un laser déclenché, d'une puissance de l'ordre de 1 joule émettant cette énergie en une dizaine de nanosecondes (10^{-9} seconde) dans un cône de l'ordre de $20''$ à $40''$ d'ouverture (10^{-4} radian) à la cadence d'un tir par seconde. La longueur du paquet d'ondes était donc de l'ordre de 3 mètres.

Après réflexion sur le satellite les photons étaient recueillis au retour sur le miroir d'un télescope de 40 cm de diamètre, la réponse était amplifiée par plusieurs étages de photomultiplicateurs. La mesure des temps de parcours se faisait par compteur d'impulsions.

Les difficultés de l'expérience étaient grandes : il fallait en effet s'assurer que le faisceau Laser toucherait le satellite, et par conséquent y diriger le rayon central du pinceau avec une précision de l'ordre de 10^{-4} . Pour cela l'ensemble était monté sur une tourelle type DCA améliorée et comportait une lunette guide, dont l'axe optique était parallèle à l'axe du faisceau Laser et du télescope (fig. 109).

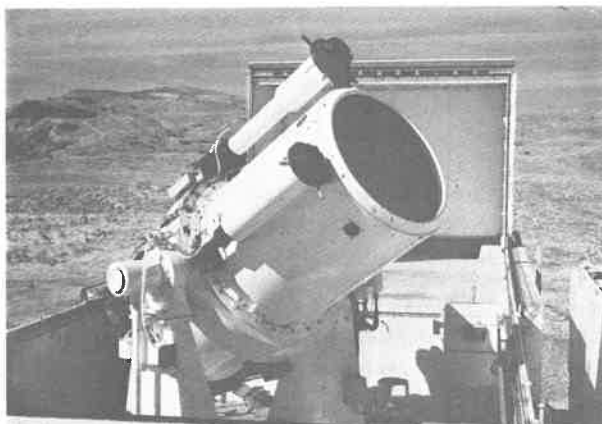


Fig. 109

Elle servait à l'acquisition du satellite que l'on maintenait alors à la croisée des fils du réticule pendant les tirs.

Le télescope est indispensable en tant que capteur des photons réfléchis : l'énergie lumineuse totale (1 joule) étant contenue dans un cône de 10^{-4} d'ouverture, la surface du satellite n'en recueille qu'une très petite partie qui est réémise à son tour dans un angle de 10^{-4} . La fraction possible d'énergie lumineuse reçue varie donc comme l'inverse de la 4^e puissance de la distance, il faut donc un miroir assez grand pour la décélérer.

Les premiers retours significatifs, furent enregistrés en début de l'année 1965. Postérieurement, on vérifia (1969) que deux télémètres implantés au même site donnaient le même résultat sur les mêmes cibles et que d'autre part, l'accord avec la triangulation était correct. On procéda pour cela à un rattachement géodésique Corse-continent en observant le triangle Mont-Chauve (au nord de Nice), Coudon (au Nord de Toulon), Cinto (culminant de la Corse).

Une équipe de l'IGN (mesures angulaires) et une équipe de CNRS (télémétrie) assurèrent les observations dont nous résumons ci-dessous les résultats.

VISEE	TELEMETRE	EUROPE 50
MT CHAUVE COUDON	121 525,45	121 525,86
MT CHAUVE CINTO	206 983,52	206 982,94

Ces mesures télémétriques ont bien entendu été introduites dans la compensation définitive du rattachement de la Corse au réseau national.

La télémétrie Laser apportait à la géodésie un élément nouveau : la triangulation spatiale appuyait son échelle sur une distance connue par la géodésie classique ; la mesure des distances station satellite introduisait l'élément distance indépendamment de tout réseau géodésique terrestre et allait bien au-delà de la triangulation ; elle fixait une échelle spatiale indépendante, car la définition de la seconde par la fréquence étalon du Cesium était déjà fixée, et la vitesse de la lumière avait été déterminée par les géodésiens anglais avec le géodimètre à 299 792,5 km/sec sur différentes bases terrestres.

Travaux de la RCP 133

La Recherche Coopérative sur Programme RCP n° 133 était une opération créée par décision du 20 février 1967 du Directeur du Centre National de la Recherche Scientifique. Elle proposait d'opérer une jonction géodésique Europe, Afrique, Amérique du Sud, en employant concurremment la télémétrie Laser, la triangulation spatiale à l'aide des matériels récemment mis au point en France, les satellites adéquats et le concours d'un certain nombre de matériels et d'observateurs étrangers.

On y trouve un bon exemple d'application des méthodes géométriques spatiales : il s'agissait initialement :

- d'établir une base de départ solide, indépendante du système Europe 1950, en observant le triangle.

- Observatoire de San Fernando (près de Cadix, Espagne).

- Observatoire de Haute-Provence (près de Forcalquier, France).

- Observatoire de Dyonisos (près d'Athènes, Grèce).

Ce triangle serait ensuite développé par observation du satellite Pageos sur la base africaine de Dakar (Sénégal), Fort-Lamy (N'Djamena - Tchad).

On disposait pour cela :

- 1) A San Fernando

- de la chambre Baker-Nunn que la Smithsonian Astrophysical Observatory opérerait pour le compte de la RCP,

- d'un télémètre Laser du CNRS-CNES.

- 2) A l'Observatoire de Haute-Provence

- du télescope de Schmidt de la station, doublé par la caméra Antarès de l'Observatoire de Nice.

- 3) A l'Observatoire de Dyonisos, de la chambre Baker-Nunn du SAO.

Les satellites observés aux trois sommets étaient les satellites munis de prismes rétroréfecteurs et l'un d'entre eux, GEOS B, émettait des éclairs programmés au-dessus des zones intéressantes (voir fig. 108), la télémétrie Laser devait fournir l'échelle générale du projet. Les chambres balistiques de l'IGN stationneraient tous les sommets.

Une extension du programme était prévue à un certain nombre de stations européennes en accord avec les autorités scientifiques compétentes et bien entendu le SAO.

F. Barlier assurait la coordination et la direction technique.

Quelques particularités techniques

D'une manière générale les directions spatiales p, q, r , des éclairs émis par le satellite procèdent d'un type de réduction propre à chaque chambre photographique, qui fournit l'ascension droite et la déclinaison des images des éclairs dans le système des étoiles de champ.

- 1) En ce qui concerne les distances télémétriques, on commence par un tri des résultats pour éliminer les faux échos — il y en a — en étudiant les écarts par rapport à un modèle continu de variation de la distance en fonction du temps : un passage comporte en moyenne une cinquantaine d'échos et la variation est représentée par une équation du 2^e degré en t .

- 2) Il n'y a pas simultanéité entre l'instant d'émission des éclairs du satellite et les instants de mesure des distances, d'autre part une distance mesurée est fonction des coordonnées de la station et de celles du satellite au même instant il faut donc pouvoir calculer quelle aurait été la distance mesurée à l'instant de chaque éclair ; on procède pour cela à un calcul local de trajectoire du satellite à l'aide d'un modèle approximatif de potentiel, et on ajuste sur les mesures de distance, on interpole les résidus (ils ont une allure systématique) à l'instant voulu et l'on peut mettre les relations d'observation station satellite sous forme d'une équation linéaire contenant coordonnées satellite et coordonnées de station en inconnues, à utiliser concurremment avec les relations d'orientation, p, q, r , des éclairs mises sous la même forme : par passage du satellite GEOS B il y avait ainsi 7 éclairs lumineux espacés de 4 en 4 secondes.

Suit alors un traitement par la méthode des moindres carrés de l'ensemble des relations d'observation ainsi écrites, convenablement pondérées.

Nous donnons après les résultats obtenus en 1968 sur les stations du réseau complet européen par A. Cazenave, O. Dargnies, G. Balmino, M. Lefebvre.

Les écarts dx, dy, dz sont significatifs, l'intervalle de confiance égal à 2 fois l'écart type de chaque coordonnée est de l'ordre de ± 4 m.

On note également un écart systématique avec les distances du système EUROPE 50 (cordes) ; il est de l'ordre de 7×10^{-6} , et exprime une dilatation par rapport à ce système ; on se perd en conjectures sur les causes de ce fait indéniable, ne sachant à quoi on le doit attribuer.

	x (EUR.50)	Dx	y (EUR.50)	dy	z (EUR.50)	dz
S. FERNANDO (Espagne)	5 105 680,1	0.0	- 555 102,9	0.0	3 769 799,3	0.0
H.-PROVENCE (France)	4 578 413,0	7.7	458 091,0	18.7	4 403 312,0	17.8
DYONISOS (Grèce)	4 595 251,6	5.8	203 957,3	26.0	3 912 795,0	- 6.3
DELFT* (Pays-Bas)	3 923 505,9	- 9.3	300 003,1	15.3	5 003 119,8	- 9.3
ZIMMERWALD (Suisse)	4 331 390,6	5.2	567 367,4	14.0	4 633 235,9	15.0
RIGA* (URSS)	3 183 998,8	- 31.8	1 421 638,2	- 32.0	5 322 894,4	46.0
UZHGOROD (URSS)	3 907 494,2	12.0	1 603 533,2	27.0	4 764 034,8	11.0
MALVERN (G.B.)	3 920 250,8	25.0	- 134 624,4	18.0	5 012 852,2	36.0

* Coordonnées approchées probablement erronées.

A. Fontaine (1973) a fait une discussion approfondie des résultats et a repris la compensation d'ensemble en vérifiant les données, éliminant ou réhabilitant certaines mesures, rectifiant une méthode de compensation un peu trop expéditive.

Il montre dans ses conclusions la très bonne précision des mesures.

- ± 1/100 000 sur les directions spatiales.
- ± 2 m sur les mesures de distances
- ± 5 m sur les coordonnées.

Il a discuté avec la même minutie la liaison Europe-Afrique par les chambres balistiques IGN et arrive à la conclusion que la précision obtenue sur Dakar et Fort-Lamy est de l'ordre d'une vingtaine de mètres, l'erreur relative restant de l'ordre de 1/100 000.

L'abandon des méthodes de triangulation spatiale, ne supprima pas l'intérêt des mesures de télémétrie laser : ces mesures furent reprises pour d'autres observations dans d'autres projets. Elles sont fondamentales puisqu'elles fixent l'unification des échelles de distances, avec d'autant plus de valeur que, comme on l'a vu c'est la vitesse de la lumière dans le vide qui constitue maintenant l'unité de longueur $C = 299\,792\,458$ mètres par seconde.

D'autre part il y a une relation évidente entre mesures Doppler et poursuite télémétrique simultanée d'un même satellite ; le Doppler donne la vitesse radiale $\frac{ds}{dt}$ alors que la télémétrie donne la

distance s c'est-à-dire en définitive la constante d'intégration — toutes corrections systématiques faites bien entendu —.

2 — GEODESIE DYNAMIQUE

Nous n'avons pas la prétention de présenter un exposé exhaustif des travaux français dans le domaine de la géodésie dynamique sur satellites.

Nous nous bornerons à parler succinctement de quelques travaux qui nous paraissent les plus caractéristiques ou les plus importants exécutés par les géodésiens français selon des projets nationaux ou en participation à des projets internationaux.

Pendant plusieurs années il avait fallu se familiariser avec la mécanique céleste, se documenter, s'exercer, préparer et vérifier les programmes de calcul, étudier des projets et commencer la mise en œuvre.

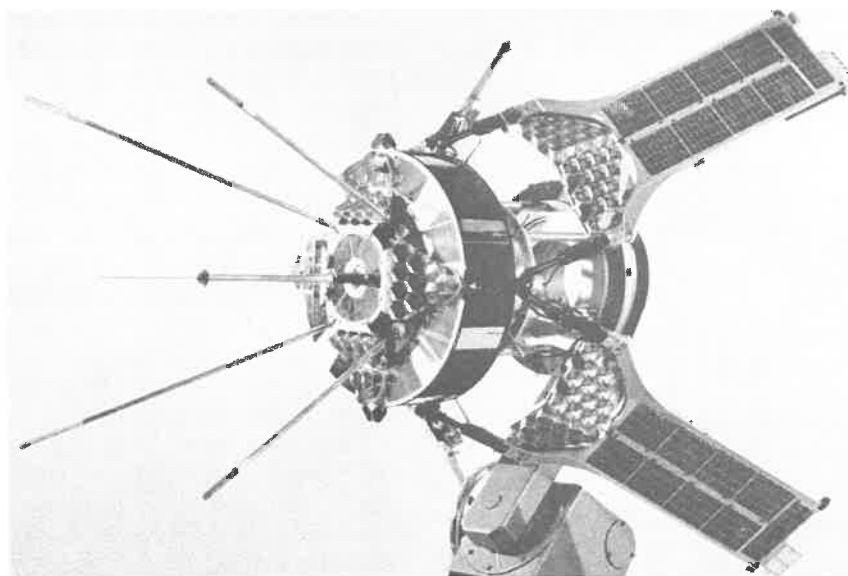


Fig. 110

Satellites géodésiques français

La géodésie eut une place d'honneur dans la programmation des premiers lancements du CNES :

- le satellite Diapason (D1A) lancé en février 1966 à Hammaguir,
- les satellites Diadème (D1C, D1D) lancés en février 1967 à Hammaguir,
- le satellite Peole lancé en décembre 1970 à Kourou.

Le satellite D1A était muni d'un émetteur stable à deux fréquences (400 mhz et 150 mhz) pour étude de l'effet Doppler.

Les satellites D1C et D1D étaient munis des mêmes types d'émetteur et revêtus de prismes cataphotes (tirs de télémétrie Laser) (fig. 110).

Le satellite Peole, plus perfectionné, présentait un intérêt spécial : il comblait une lacune dans la gamme des indications orbitales, son inclinaison étant de 14° environ.

Tous étaient des satellites légers, d'un modèle classique, tirant l'énergie nécessaire à leur fonctionnement de cellules solaires. L'attitude par rapport à la terre était assurée par stabilisation magnétique ou par gradient de pesanteur.

Lancé en 1975 par le CNES, le satellite Starlette est une sphère d'uranium, donc de très forte densité, muni de prismes rétroreflecteurs (télémétrie Laser), gravitant à haute altitude : il a pour objet l'étude du champ de gravité y compris ses variations périodiques (marées) et la polhodie.

Méthodes semi-dynamiques

Soit un satellite dont les passages sont observés en plusieurs stations, localisées dans une étendue relativement restreinte (2 à 3 000 km), dont quelques-unes sont rattachées à un ensemble plus général. On se propose d'obtenir dans le système des stations connues les coordonnées des stations inconnues, en faisant intervenir dans la résolution les équations plus ou moins simplifiées du mouvement du satellite considéré, valables dans un espace restreint.

On est ainsi amené à considérer plusieurs types de relations d'observations suivant la nature de l'observation faite (direction spatiale, distance, enregistrement Doppler). Calculons l'observation C qui aurait dû être faite au temps t en une station donnée. Elle est fonction de la position du satellite sur son orbite donc des éléments a, e, i, Ω , ω , Mo, t et des coordonnées de la station (x_n , y_n , z_n), connues de manière approchée

$$F(a, e, i, \Omega, \omega, Mo, t, x_n, y_n, z_n) = C$$

On va donc attribuer la discordance entre l'observation numérique \hat{O} et la valeur calculée C aux variations des éléments de la fonction F par rapport aux valeurs approchées — c'est la linéarisation classique employée en méthode des moindres carrés — et traiter précisément par cette méthode la valeur des résidus $C - \hat{O}$.

Pour les stations connues, les variations de coordonnées seront nulles alors que pour les stations inconnues existent les variations de coordonnées

de ladite station : dx_n , dy_n , dz_n qui seront obtenues en solution du système normal. Autrement dit on aura des relations pour un satellite donné.

$$\begin{aligned} \text{(station connue)} \quad & \frac{dF}{da} da + \frac{dF}{de} de + \frac{dF}{di} di + \dots \\ & + \frac{dF}{dM} dM + C - \hat{O} = v \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(station inconnue)} \quad & \frac{dG}{da} da + \frac{dG}{de} de + \frac{dG}{di} di + \dots \\ & + \frac{dG}{dx_n} dx_n + \frac{dG}{dy_n} dy_n + \frac{dG}{dz_n} dz_n + C - \hat{O} = v' \end{aligned}$$

On peut associer des observations de type différents F, G sur plusieurs satellites, l'essentiel est de les pondérer et de bien exprimer les dérivées partielles en fonction d'éléments aussi corrects que possible, qui sont évidemment fonction du modèle terre adopté, en particulier de la correction des J_n et L_n ; en d'autres termes on rattache le ou les points nouveaux au système général adopté comme modèle, par exemple une Standard Earth.

Ce sont des expériences de ce type qui ont été tentées vers 1966, 1968 sur les satellites français en utilisant des dispositifs d'enregistrement Doppler ou de télémétrie Laser.

Expériences Diadème

La lancement des satellites D1A, D1C, D1D permis aux français de se familiariser avec les travaux de géodésie dynamique.

Les opérations essentielles intéressaient le triangle Colomb-Bechar, Observatoire de Haute-Provence, Stephanion (près d'Athènes) avec extension à Beyrouth.

On connaît par le réseau Européen 1950 des coordonnées suffisamment approchées de ces stations pour les considérer comme correctes. Elles furent ramenées au centre des masses de la terre par une translation (un système dynamique a par hypothèse son origine en ce point — voir plus loin). Aux stations principales se trouvaient :

- 1 récepteur Doppler
- 1 télémètre à laser (sauf à Beyrouth dont les coordonnées étaient d'ailleurs incertaines), éventuellement (à Nice) la caméra Antarès.

Etudes de positionnement par effet Doppler

Elle fut entreprise sur la base Nice-Beyrouth par J. Kovalevsky, F. Barlier, I. Stellmacher (Mme) sur le satellite D1A. Ce satellite n'émettait que ses deux fréquences à l'exclusion de tout autre message. Appliquant leur mise en équation et leurs propres programmes les observateurs étudièrent pendant plusieurs mois :

- la dispersion des mesures de localisation de Beyrouth,
- l'influence de la durée de l'observation, de la stabilité de l'émetteur,
- l'influence du modèle de potentiel choisi pour extrapoler vers Beyrouth les déterminations d'orbite calculées à partir des observations de Nice.

La moyenne des résultats de position obtenues diffère du point calculé par l'IGN de :

$\Delta\varnothing = + 0^{\circ}00010 \pm 0,0008$ en degrés décimaux
 $\Delta L = - 0^{\circ}00015 \pm 0,0012$ $10^{-4} \# 11$ m
 ce qui paraît satisfaisant tant pour le modèle terrestre que pour le modèle spatial.

En fait les difficultés de l'opération étaient grandes :

1) le satellite n'étant observé au point de vue de calcul d'orbite que par la seule station de Nice ; on ne pouvait donc calculer les éléments moyens qu'en utilisant des observations portant sur des arcs de deux ou trois jours. La précision interne de ceux-ci était en apparence excellente :

1/2 grand axe $\pm 0,50$ m
 excentricité $\pm 10^{-5}$
 inclinaison $\pm 10^{-5}$ (radians)
 longitude du nœud ascendant 5×10^{-5} radians
 argument du périhélie 10^{-4} radian
 mais la discordance réelle était bien supérieure, comme le montrent d'ailleurs les écarts types des calculs de position.

Les causes en sont nombreuses (ce sont elles que l'on cherchait précisément à étudier) :

— au point de vue du calcul pur, une variation de 10^{-5} dans la valeur de l'excentricité d'orbite introduirait une erreur de l'ordre de l'hectomètre sur la position théorique du satellite, ce qui se répercute évidemment sur la position calculée de la station,

— les observations de passages pouvaient présenter des lacunes et d'autre part correspondre à des positions du satellite pour lesquelles la correction de propagation des ondes dans la troposphère est incertaine,

— le modèle de potentiel utilisé pour extrapoler l'arc Nice-Beyrouth pouvait être insuffisant et des harmoniques tesseraux alors inconnus, en particulier des harmoniques de résonance, risquaient de fausser les résultats s'il n'en n'était pas tenu compte, comme le montrent bien la corrélation existant entre la variation de certains éléments képlériens calculés et l'allure des effets théoriques que produisaient de tels harmoniques.

Cette expérience est le premier exemple en France de l'application de la méthode Doppler à la détermination des positions.

Elle permet de mettre au point les programmes de calcul indépendamment de tout logiciel Transit, de familiariser les opérateurs français avec les matériels, de montrer et expliquer les défaillances des modèles de potentiel qui ne prennent pas en compte le satellite observé, etc... bref d'ouvrir la voie à l'application d'une part, à des projets scientifiques plus généraux d'autre part, en toute indépendance (éventuelle) de tout système a priori.

Etudes semi-dynamiques

De leur côté, J.-P. Chassaing, B. Lago, M. Lefebvre entreprenaient une étude de détermination du triangle Colomb-Bechar, Haute-Provence, Stephanon par observations combinées (Doppler et Laser) du D1C et D1D. Les résultats devaient permettre

d'autre part de rechercher les coordonnées du centre de l'ellipsoïde porteur du réseau géodésique Europe 1950 par rapport au centre des masses terrestres, et de calculer certains harmoniques tesseraux qui n'étaient pas contenus dans les modèles terrestres alors connus (Standard Earth 1966) dont l'existence était précisément soulignée par l'expérience D1A.

On traitait des arcs "courts" (2 à 3 jours) pour obtenir :

— les paramètres orbitaux
 — la position des stations
 — l'étalement relatif des fréquences (émission, réception)
 par intégration numérique des équations fondamentales.

La comparaison de leurs résultats avec un système amélioré de "Standard Earth" est résumée dans le tableau ci-dessous. Les coordonnées ont pour origine le centre des masses terrestres.

Station		Standard Earth	CNES
Colomb-Bechar	x	5 426 355 m	5 426 339 m
	y	- 229 327 m	- 229 318 m
	z	3 334 588 m	3 334 587
Stephanion	x	4 654 337 m	4 654 352 m
	y	1 959 148 m	1 959 164 m
	z	3 884 390 m	3 884 381 m
Haute-Provence	x	4 578 368 m	4 578 383 m
	y	457 954 m	457 951 m
	z	4 403 156 m	4 403 144 m

On peut considérer résultats comme excellents, les discordances étant de l'ordre de grandeur de la précision du modèle de comparaison.

La position du centre de l'ellipsoïde Europe 1950 par rapport au système des satellites, également étudiée par G. Balmino, a trouvé des résultats évidemment concordants à ceux que l'on connaissait par le Standard Earth. La méthode consiste à comparer les coordonnées triangulaires d'un même point dans le système terre et dans le système géodésique, compte tenu des changements d'ellipsoïde. De nombreuses valeurs ont été proposées en générale très voisines.

Composantes du vecteur centre de masse - centre de l'ellipsoïde Europe 50							
	Semi-dynam. Doppler	Semi-dynam. Mélange	Semi-dynam. Chassaing	Veis	Dynamique	Levallois dufour	Levallois (1978)
Δx	-75	-76	-67	-90	-68	-30	-57
Δy	-131	-131	-128	-133	-126	-100	-114
Δz	-102	-131	-135	-140	-124	-150	-130

Celles qui sont obtenues par Levallois, Dufour (1967) et Levallois (1978) sont tirées de la comparaison du géoïde gravimétrique (formule de Stokes) et du géoïde astrogéodésique (Europe 1950). La discordance entre les valeurs 1967 et celles de 1978 provient de l'abondance des données terrestres disponibles (très incomplètes en 1967) sur lesquelles portaient les calculs. Il y a concordance très raisonnable entre méthode spatiale et méthode terrestre ce qui montre un accord correct entre le champ spatial et le champ superficiel tiré des mesures de pesanteur.

En 1984 on admettait (France)

$\Delta x = -84$ $\Delta y = -109$ $\Delta z = -123$
mais aucun de ces nombres n'est fixé à mieux que quatre ou cinq mètres.

Quoi qu'il en soit une telle méthode permet d'adapter les systèmes géodésiques continentaux (Europe, USA, etc...) à un système mondial cohérent, par simple transformation numérique.

Le programme Isagex

Dès l'automne 1969, le Centre National d'Etudes Spatiales prenait l'initiative d'une expérience internationale.

Constatant que le lancement de Peole permettait de combler une lacune dans la gamme des inclinaisons des satellites, il présentait une "Proposition pour une campagne internationale d'observation photographique et télémétrique sur satellites équipés de prismes rétro-rélecteurs". Au cours d'une réunion préliminaire dans les premiers jours de l'année 1970, les grandes lignes du projet se dégagèrent :

- organiser sur les sept satellites possibles, une campagne d'observation bien coordonnée, susceptible d'apporter à la connaissance du champ terrestre et des autres paramètres géodésiques une contribution significative,
- rassembler les observations des organismes participants et les mettre à la disposition de la communauté scientifique,
- développer les recherches instrumentales de précision.

Le CNES fut chargé de préparer pour mars 1970, un plan provisoire d'expériences qui serait examiné par un comité scientifique, présidé par J. Kovalevsky.

Ce projet, soutenu par le Cospar, au cours de la XIII^e Assemblée Générale (Leningrad - juin 1970) reçut l'adhésion des nations suivantes : RDA, RFA, Australie, Etats-Unis, Finlande, France, Grèce, Japon, Pays-Bas, Pologne, Royaume-Uni, Suède, Suisse, Tchécoslovaquie, URSS.

Le Comité scientifique examina le programme préliminaire d'expériences, l'approuva dans ses grandes lignes, y apporta quelques amendements et désigna son auteur, G. Brachet — CNES — comme Directeur exécutif ; redoutable honneur.

La mise en œuvre d'un tel projet exige en effet une organisation minutieuse, implacable quoique souple. On décida de répartir la coordination gé-

rale du programme entre un centre principal (CNES Brétigny) et cinq sous-centres auxiliaires.

Le centre principal devait :

- programmer les périodes favorables à la poursuite et aux intervisibilités mutuelles, distribuer les éphémérides,
- rassembler les informations géodésiques et techniques relatives aux stations de poursuite,
- tenir à jour la liste des observations, les mettre en fichier et en banque de données,
- les diffuser aux demandeurs, etc.

Les cinq centres auxiliaires :

Cambridge (USA. Mass) Smithsonian Astrophysical Observatory (SAO)
Greenbelt (USA Maryland) - Nasa et Goddard Space Flight Center
Moscou (URSS) Conseil Astronomique de l'URSS
Ondrejov (Tchécoslovaquie) Centre Europe de l'Est Brétigny (CNES)

étaient chargés de piloter un groupe local de stations de poursuite et de :

- transmettre les ordres d'opération définis dans le plan général
- rassembler les rapports d'observation des stations
- transmettre au centre principal un rapport hebdomadaire
- rassembler les résultats bruts pour le calcul des éléments orbitaux et toutes les observations de leur réseau.

Parmi ces centres auxiliaires, celui de Cambridge (USA) se chargeait pour tous les autres du calcul préalable des prédictions orbitales de tous les satellites concernés ; celui de Nasa, devait, sur demande du centre principal, préparer la télécommande d'éclairs lumineux du satellite GEOS-C en conformité avec les nécessités du programme scientifique et lui en faire connaître la programmation.

Les observations étaient prévues pour durer six mois environ à partir du début de janvier 1971. Elles devaient être précédées par un premier test en septembre 1970. Le lancement réussi de Peole libéra de toutes les incertitudes et les observations débutèrent le 5 janvier 1971 pour s'achever en août de la même année.

La figure 111 donne la répartition des moyens d'observation pendant la campagne.

La France prit évidemment une part très importante à la campagne ; elle équipait les stations suivantes et y procédait aux observations.

Stations de Haute-Provence : télémètre Laser de l'ONERA et télescope de Schmidt.

Station de Dakar : télémètre Laser, caméra Baker-Nunn (du SAO).

Station de San Fernando (Cadix) : télémètre laser.

Station de Nice : caméra Antarès.

Le Bureau International de l'Heure assurait la synchronisation d'ensemble.

En outre, le centre auxiliaire de Brétigny coordon-

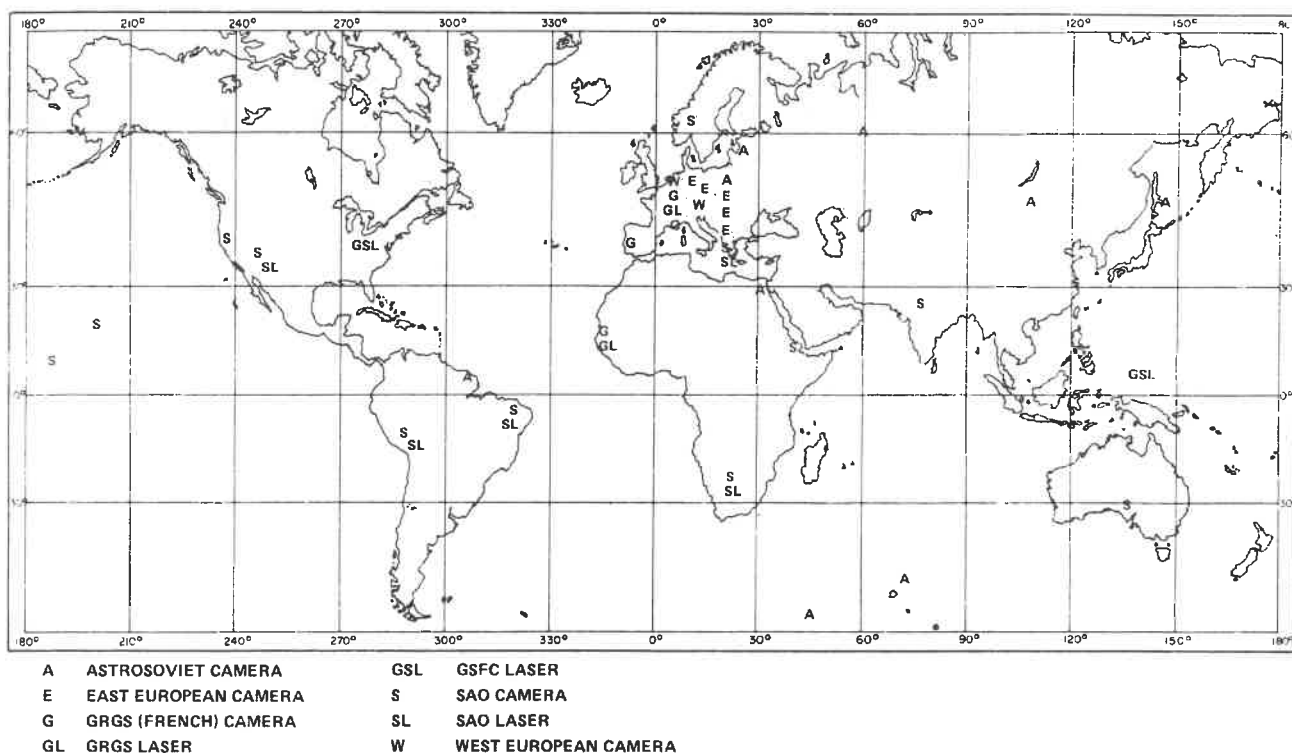


Fig. 111 Locations of Stations Which Collected Data During the International Satellite Geodesy Experiment

nait les stations de Bruxelles, Debrezeit (Ethiopie), Edimburg, Kerguelen, Kourou, Malvern (G.B.), Naukallio (Finlande), Ypburg (Pays-Bas), Zimmerwald (Suisse).

Le programme Isagex est, peut-on dire sans chauvinisme, l'exemple type d'un très beau travail international, bien conçu, parfaitement exécuté, tout à l'honneur de notre pays, du directeur technique et des exécutants.

Les observations ont été recueillies et diffusées sous forme de catalogues (G. Brachet) qui ont été largement exploités.

Le groupe de recherches de géodésie spatiale (GRGS)

Il apparut enfin assez rapidement, au cours des réunions scientifiques nationales ou internationales, que les travaux de géodésie spatiales des divers petits groupes de chercheurs français, centrés sur les thèmes particuliers propres à chaque établissement, auraient tout à gagner d'une coordination générale et de la mise en commun de certains moyens.

On pouvait en espérer :

- une efficacité plus grande dans la réalisation des projets
- une gestion plus économique des crédits d'ensemble
- la désignation d'un interlocuteur unique, qualifié pour prendre des engagements internationaux
- un choix rationnel des thèmes de recherches
- l'admission au rang de laboratoire associé par le CNES

— une liaison avec le CNRS, etc...

L'organisation devait être assez souple pour conserver aux établissements des divers ministères leur vocation propre et leur identité ainsi que les statuts respectifs des personnels.

Après réflexions et contacts divers on proposa l'organisation suivante (J. Kovalevsky, J.-J. Levallois) :

- le Bureau des Longitudes
- le Centre National d'Etudes Spatiales (CNES)
- l'Institut Géographique National (IGN)
- l'Observatoire de Paris.

représenté par leurs directeurs, échangeraient par lettre leur intention de créer sous le nom de Groupe de Recherches de Géodésie Spatiale (GRGS) une organisation officielle à laquelle chacun apporterait sa contribution en crédit ou personnels pour participation à un certain nombre de projets débattus et approuvés.

L'entente était renouvelable par tacite reconduction annuelle.

L'autorité et la décision appartiendraient au Comité Directeur composé des directeurs ou présidents des quatre établissements fondateurs.

Les projets lui seraient soumis sur proposition émanant d'un Comité Scientifique.

Un Directeur exécutif serait responsable devant le Comité Directeur de la mise en œuvre des projets adoptés. Il serait désigné par périodes de trois ans, renouvelables ; il était qualifié par le Comité Directeur pour maintenir tous contacts avec les organismes étrangers, ou avec le CNES.

L'échange des lettres d'accord eut lieu en février 1971 (Voir annexe).

Cette organisation si simple fonctionne depuis sans accroc, et chacun y trouve son compte. Depuis la création, J. Kovalevsky et B. Lago en ont exercé les fonctions de directeur technique.

Grâce à cet accord, la France pouvait participer aux projets internationaux, se faire entendre dans les réunions scientifiques et y parlant d'une seule

voix et, pour l'exécution, compter sur l'appui sans réticences des fondateurs et des personnels volontaires de chacun des établissements.

Les recherches et les résultats de ses géodésiens lui permettaient d'autre part d'entrer de plain-pied dans le concert international et d'y jouer un des tous premiers rôles.

Bibliographie

(1) *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences - Tome VII - 1666-1695.*

(2) J.-B. Delambre : *Grandeur et figure de la Terre* publié par les soins de G. Bigourdan.

(3) J.-B. Delambre : *Histoire de l'Astronomie, Astronomie moderne - Tome 1.*

(4) L. Gallois : *l'Académie des Sciences et les origines de la carte de Cassini - Annales de Géographie - 1909 n° 99.*

(5) R. Taton : J. Picard et la mesure de l'arc du Méridien Paris-Amiens - Colloques internationaux du CNRS n° 590.

La découverte de la France au XVII^e siècle.

(6) Colonel Berthaut : *La carte de France 1750-1898*

Services Géographiques de l'Armée - 1818.

(7) J.-J. Levallois : *La détermination du rayon terrestre par J. Picard en 1669-1671 - Bulletin géodésique - Volume 57 - 1983.*

(8) *Annuaire du Bureau des Longitudes : 1974.*

(9) A. Danjon et A. Couder : *Lunettes et télescopes.*

A. Blanchard - Paris

(10) La Hire : *Traité du nivellement* par M. Picard de l'académie des Sciences, avec une relation que quelques nivellements faits par ordre du Roy... mis en lumière par les soins de M. de La Hire.

(11 N) *Mémoires ou Histoire de l'Académie Royale des Sciences (Année N).*

(12) J. Cassini : *Traité de la grandeur et de la Figure de la Terre (1723).*

(13) Cassini de Thury : *La méridienne de l'observatoire Royal de Paris vérifiée dans toute l'étendue du Royaume (1744).*

(14) Cassini de Thury : *Description géométrique de la France (1780).*

(15) Maupertuis : *Oeuvres de M. de Maupertuis (4 tomes).*

a) *Discours sur les différentes figures des astres.*

b) *Mesure de la terre au cercle polaire.*

c) *Relation du voyage fait par ordre du Roi au cercle polaire, pour déterminer la figure de la Terre.*

(16) Authier : *Journal d'un voyage au Nord en 1736 et 1737.*

(17) P. Bonguer : *La figure de la terre, déterminée par les observations de MM. Bonguer et La Condamine.*

(18,a) Ch. de La Condamine : *Journal d'un voyage fait par ordre du Roy à l'Equateur.*

(18,b) Ch. de La Condamine : *Mesure des trois premiers degrés du Méridien dans l'hémisphère austral.*

(19) Florence Trystam : *Le procès des étoiles - Shers - 1979.*

(20) C. Clairant : *Théorie de la Figure de la Terre tirée de l'hydrostatique.*

(21) J.-J. Levallois : *Géodésie (tome III).*

(22) J. Svanberg : *Exposition des opérations faites en Laponie pour la détermination d'un axe du méridien en 1801, 1802 et 1803.*

(23) J. Leinberg : *Über die Ergebnisse der Manpartnischen Gradmessung in Lappland (CR de la quatrième séance de la Commission géodésique Baltique 1929).*

(24,n) J. Delambre : *Les bases du système métrique décima (3 tomes).*

(25) G. Bigourdan : *Le système métrique des Poids et Mesures.*

(26,n) F. Tisserand : *Traité de Mécanique Céleste (tome n).*

(27) Todhunter : *History of the theories of attraction and of the figure of the Earth.*

(28,n) Laplace : *Traité de mécanique céleste (livre n).*

(29) G. Perrier : *Petite histoire de la géodésie.*

(30,n) *Mémorial du Dépôt de Guerre (tome n).*

(31) *CR des séances du Bureau des Longitudes (1803-1809).*

(32) Biot et Arago : *Recueil d'observations géodésiques et astronomiques exécutées par ordre du Bureau des Longitudes.*

(33) Ch. Berthaut : *Les ingénieurs géographes militaires.*

(34) L. Puissant : *Traité de géodésie - 3^e édition 1842.*

(35) Breton de Champ : *Traité de nivellement.*

(36) L. Puissant : *Traité de topographie, d'arpentage et de nivellement.*

(37) B. Pascal : *Oeuvres complètes - Edition de la Pléiade.*

(38) G. Darboux : *Eloge historique de François Perrier (Ads).*

(39) G. Bigourdan : *Le Bureau des Longitudes (Annuaire de 1928-1929-1939-1931-1932-1933).*

(40) Bassot : *La géodésie française - Annales de géographie (1891).*

(41) *Le Service Géographique de l'Armée - son histoire - son organisation - ses travaux - Imprimerie du SGA (1978).*

(42) *Le nivellement général de la France de 1878 à 1926 - Ch. Lallemand - E. Prévot.*

(43) P. Tardi et G. Laclavère : *Traité de Géodésie (1955) tome II - Astronomie géodésique de précision.*

(44,n) *Bureau des longitudes. Encyclopédie scientifique de l'Univers - Volume n, N° 1 : La terre, les eaux, l'atmosphère.*

(45,n) *Bulletin astronomique, année n.*

(46) R. P. Pierre Lejay : *Développements modernes de la gravimétrie.*

(47,n) *Comptes rendus annuels des travaux du Service géographique de l'Armée.*

(48) *Service géographique de l'Armée - La carte de l'Empire colonial français (1931).*

(49) A. Lambert : *La révision des longitudes mondiales (oct. nov. 1926) (1929).*

(50) N. Stoyko : *La 2^e opération des longitudes mondiales - Résultats... Conclusion.*

(51,n) *Comptes rendus des Travaux de l'IGN au Comité central des Travaux géographiques, Année n.*

(52) *The Earth and its gravity field.*
F. Vening - Munioz - W. Heiskanen (Mc. Graw-Hill - 1958).

(53) *Etude gravimétrique de l'Algérie - Tunisie.*
J. Lala : *Bulletin du Service de la Carte d'Algérie 1951.*

(54) *Nouvelles études gravimétriques* - J. Lagrula.

(55) *Mémoire explicatif de la carte gravimétrique du Maroc.* - J. N. H. Van Den Bosch - (Service géologique du Maroc).

(56) *Base gravimétrique Paris-Toulouse* - J. Martin - *Exp. polaires françaises.*

(57) *Etablissement d'un réseau général de sta-*

tions gravimétriques en Afrique, à Madagascar, à La Réunion, et à l'Île Maurice - F. Duclaux, J. Martin, G. Blot, R. Remiot - ORSTOM.

(58) *The International gravity Standardization Net 1971 Association Internationale de Géodésie - Paris.*

(59) *Implantation d'un réseau géodésique pour la mesure directe de l'expansion d'un rift océanique* IGN Paris.

(60) *Nombreux articles de MM. Ruegg, Tarantola, Lépine, Kasser, Lévêque, etc. dans diverses revues.* Institut de Physique du Globe de Paris.

(61) *Geodesic measurements across the English Channel 1963 Ordnance Survey - Southampton 1971.*

(62) *Mécanique céleste : tome IV de (21) entièrement rédigé par J. Kovalevsky pour la Mécanique Céleste.*

(63) *Mouvement d'un satellite artificiel de la terre.* B. Morando - Gordon and Breach.

(64) *Le système international d'unités (S.I.) Offilib, 48, rue Gay-Lussac, 75005 Paris.*

(65) *Les fondements de la mécanique céleste.* Y. Thiry - Gordon and Breach.

ABONNEMENT 1988 A LA REVUE XYZ

de l'Association Française de Topographie

Pour s'abonner à cette revue, vous adressez votre demande, accompagnée du chèque de règlement à l'adresse suivante :

ASSOCIATION FRANÇAISE
DE TOPOGRAPHIE

"Abonnements"

140, rue de Grenelle
75700 PARIS

Abonnement 1 AN (4 numéros) : 390 F

Tous les membres de l'A.F.T. sont automatiquement abonnés à la revue xyz.

Les abonnements sont en principe souscrits par année civile.

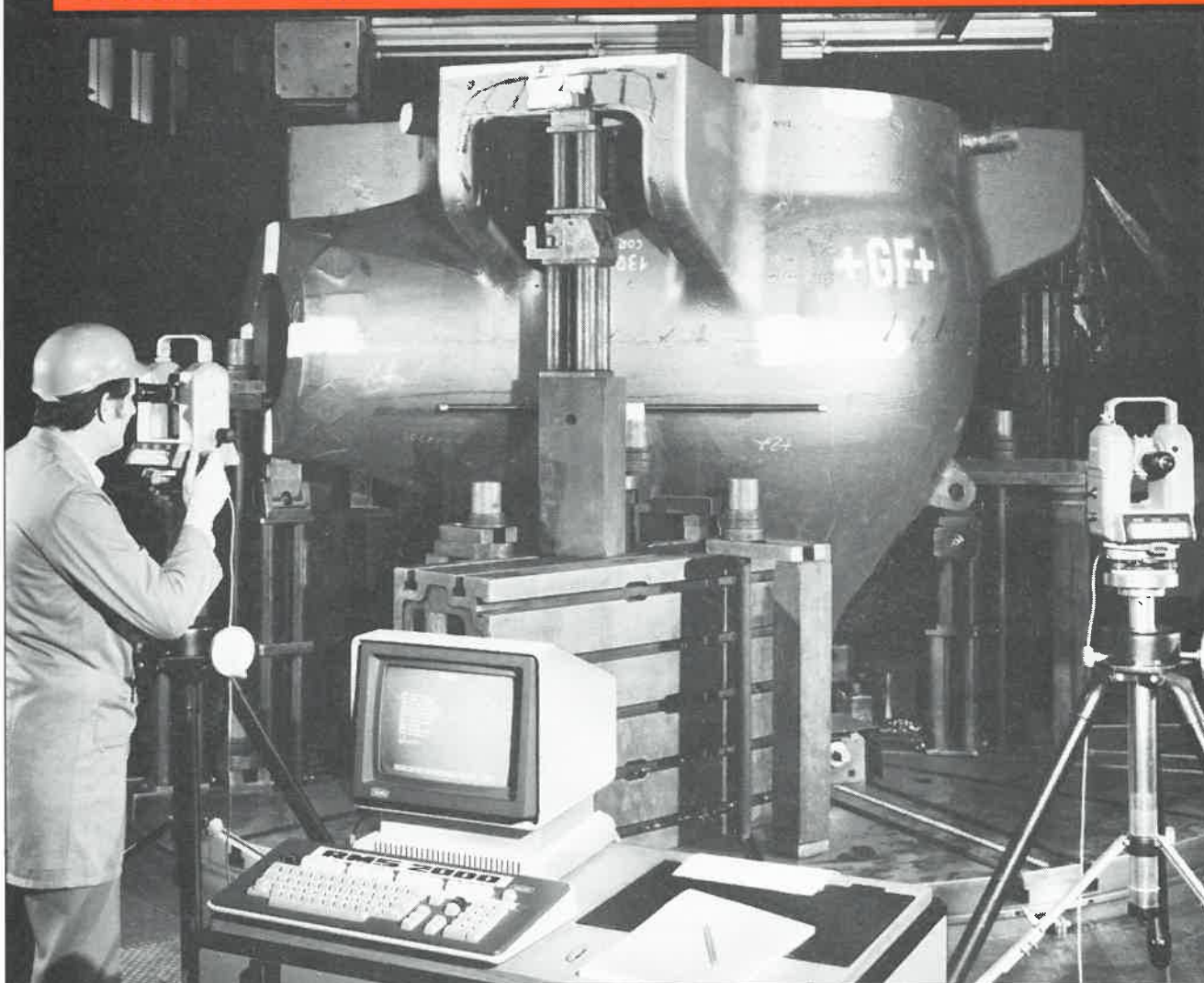
Achat d'un seul numéro - même adresse que ci-dessus (sous réserve de disponibilité) : 100 F

Tél. : (1) 45.50.34.95 pte 660 mardi et vendredi de 10 à 12 h

En cas de changement d'adresse, nous invitons nos abonnés à bien vouloir communiquer à l'adresse ci-dessus la dernière bande accompagnée de la somme de 4,00 F en timbres-poste.

WILD-LEITZ RMS2000:

DECISIF POUR ASSURER UNE MEILLEURE QUALITE



RMS2000 est le fruit d'une collaboration étroite entre Wild Heerbrugg et Leitz Wetzlar: c'est un système pour mesures rapides par intersections optiques d'objets de toutes dimensions.

Le système se compose de deux ou plusieurs théodolites informatiques Wild T2000S et d'un micro-ordinateur. Le traitement des valeurs mesurées est confié au logiciel MESCAL développé par Leitz Wetzlar.

RMS2000 présente les avantages suivants, par rapport aux méthodes traditionnelles:

- **Mobile:** RMS2000 peut être amené en peu de temps près de l'objet, quel qu'en soit les dimensions.
- **Précis:** La haute précision de la mesure angulaire des théodolites électroniques Wild est garante de la précision la plus élevée.
- **Rapide:** Les éléments, même les plus complexes sont calculés immédiatement et les résultats sont exploitables dans les plus brefs délais.
- **Souple:** Les objets fragiles au toucher ou difficilement accessibles ou se trouvant dans un

environnement dangereux peuvent être mesurés aisément avec grande précision. Pour de nombreuses industries comme la construction aéronautique, navale et automobile, la grande mécanique et le positionnement des robots, le RMS2000 est un système inappréciable qui répond à leurs besoins.

Etudiez sans attendre les performances du RMS, elles assurent un haut degré d'efficacité au contrôle qualité de vos produits. Demandez-nous une documentation détaillée! ■

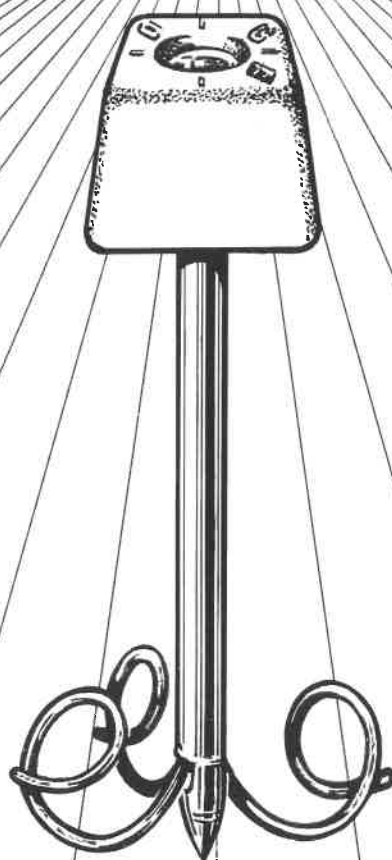
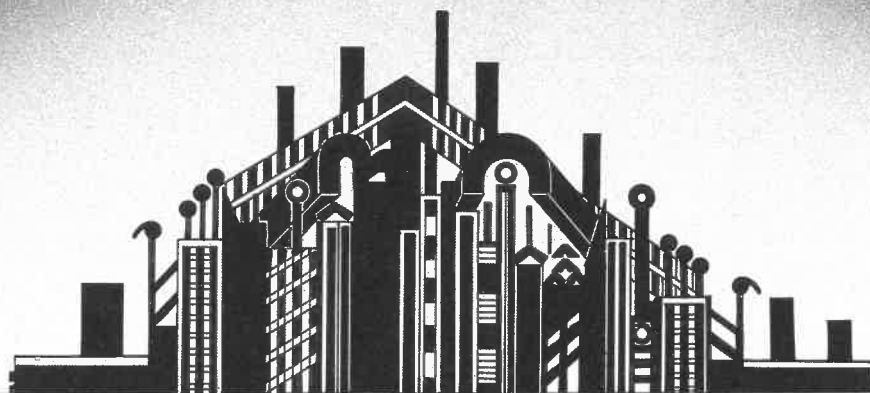
675-85

WILD + LEITZ, 86, avenue du 18-Juin-1940, BP 326
92506 Rueil-Malmaison Cedex - Tél. : (1) 47.32.92.13 - Téléc : WLF 203334 F

WILD
HEERBRUGG

BORNE FENO

AUX LIMITES DU FUTUR



Grâce à sa tête en béton Polyroc "aussi indestructible que le granit" et à son puissant ancrage métallique galvanisé à chaud, la **Borne FENO** est une borne "qui défie le temps".

Dans plus de 30 pays, des milliers de géomètres et topographes emploient régulièrement la **Borne FENO** avec grande satisfaction.

Ets FAYNOT
Thilay
08800 MONTHERME France
Tél. 24. 32. 81. 22
Télex 840345 F

BON POUR UNE DOCUMENTATION

NOM
ADRESSE
Tél.

Système de symboles cohérents en topographie

Lexique topographique

Introduction

Le n° 23 de juin 1985 de XYZ comportait un article de MM. Brabant et d'Hollander intitulé : "Normalisation des termes et des symboles utilisés en topographie". Les auteurs y faisaient état des travaux de la commission d'enseignement de l'AFT en matière de définitions et de symbolisation ; ils signalaient notamment l'élaboration d'un "système de symbole cohérents en topographie", qui ne constitue qu'une partie du travail de la commission.

Toute personne intéressée par la question pouvait demander au secrétariat de l'AFT la communication de la minute préparatoire du **système de symboles**. Suite à plusieurs observations des retouches y ont été apportées et la commission d'enseignement a examiné dans sa séance du 25 mars 1987, le tableau remanié ; elle a décidé :

— d'une part d'adopter provisoirement les propositions faites ;

— d'autre part de faire paraître dans XYZ le **système de symboles**.

Par ailleurs le conseil de l'AFT a décidé dans sa séance du 12 janvier 1988 de publier dans XYZ le lexique topographique dont l'informatisation est actuellement terminée.

En publiant le **système de symboles cohérents** avant le lexique, la commission d'enseignement de l'AFT souhaite déjà sensibiliser les membres de l'Association et les enseignants de topographie à cette question importante du langage technique de la profession et provoquer remarques et suggestions ; celles-ci seront les bienvenues. Prière de les adresser au secrétariat de l'AFT, 140, rue de Grenelle, 75700 Paris.

Lexique topographique (Liste des chapitres)

- 1 — Données de base
- 2 — Mesure des distances
- 3 — Mesure des angles
- 4 — Mesure des altitudes
- 5 — Canevas
- 6 — Cadastre
- 7 — Levé tachéométrique
- 8 — Levé planchette
- 9 — Information topographique
- 10 — Calculs
- 11 — Représentation cartographique
- 12 — Photogrammétrie

Système de symboles cohérents en topographie

Propositions adoptées par la commission d'enseignement de l'AFT le 25 mars 1987

① DESIGNATIONS RELATIVES A DES POINTS, DES AXES, DES DIRECTIONS, DIVERS

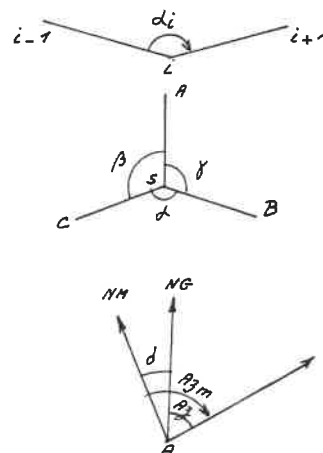
<i>Points connus</i>	<i>A. B. C. D. E. F</i>
<i>Points à déterminer</i>	<i>M. P. Q. T. U. V</i>
<i>Point approché</i>	<i>M₀</i>
<i>Point nodal</i>	<i>N</i>
<i>Repère ou point de repère</i>	<i>R</i>
<i>Référence</i>	<i>Ref</i>
<i>Points de station</i>	<i>S. S₁. S₂. S₃ ...</i>
<i>Points de détails rayonnés ou jetés</i>	<i>J₁. J₂. J₃ ... ou M₁. M₂. M₃ ...</i>
<i>Axe principal de pivotement d'un goniomètre</i>	<i>(P)</i>

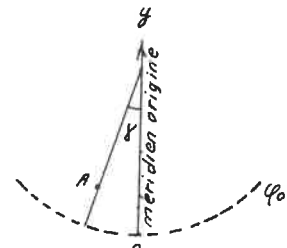
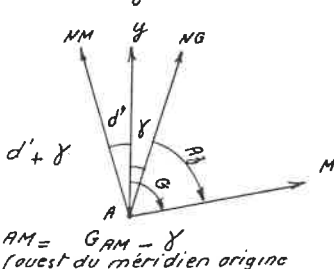
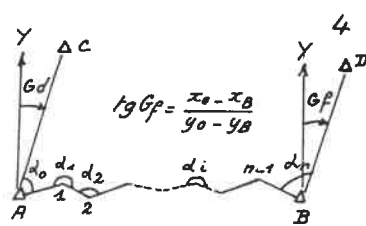
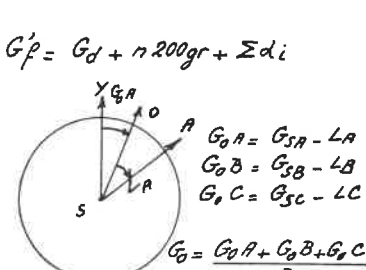
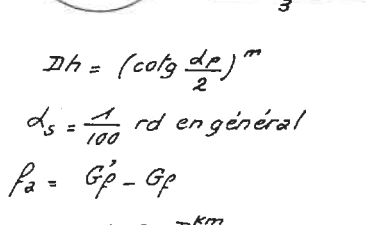
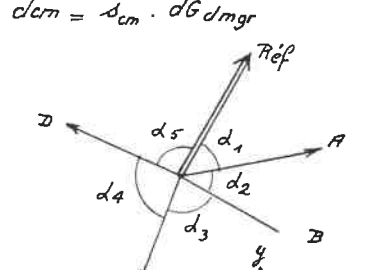
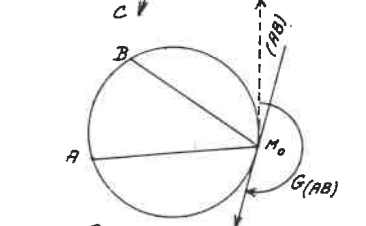
Axe secondaire de basculement (ou des tourillons)	(T)
Axe de visée de lunette topographique *	(V)
Axe de révolution d'une lunette de niveau à double visée	(G)
Croisée du réticule	CR
Direction de l'horizontale	(H)
Zénith, Nadir	Zen, Nad
* L'appellation axe optique doit être réservée à l'axe d'un système centré	
Directrice d'une nivelle	(D)
Graduation centrale d'une nivelle	C (grand c)
Défaut de collimation horizontale (défaut de perpendicularité de V et de T)	c (petit c)
Défaut de tourillonnement (défaut de perpendicularité de T et de P)	t
Nord géographique, Nord magnétique	NG, NM

② DESIGNATIONS RELATIVES AUX ANGLES HORIZONTAUX

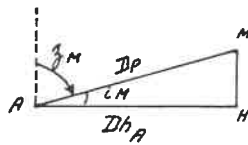
(sens de rotation des aiguilles d'une montre)

Cerle à gauche, Cerle à droite	CG, CD ou indices G et D
Lectures azimutales	L
" " CG et CD	LG, LD
Lecture azimutale relative à la direction AM	L_M ou L_{AM}
" " SA	L_A ou L_{SA}
Lecture azimutale de départ	Ld
Lecture azimutale de fermeture	Lf
Angle horizontal ou azimutal	α ou \hat{A}
Angles d'un relèvement sur 3 points B, C, A	α, β, γ ou $\hat{A}, \hat{B}, \hat{C}$
Azimut géographique (à partir du Nord)	A_z
Azimut géographique de \vec{AM}	A_{zAM}
Azimut magnétique de \vec{AM} à partir du Nord magnétique	A_{zmAM}



Angle de déclinaison magnétique	d	$A_{3m} AM = A_3 AM + d$
Angle de déclinaison magnétique rapporté au quadrillage	d'	
Gisement	G ou V	
Gisement de AM	G_{AM} ou V_{AM}	
Correction de réduction à la corde (dans un système de projection)	r_c	$d = d' + \gamma$
Convergence du méridien d'un lieu avec le méridien origine	γ	$A_3 AM = G_{AM} - \gamma$ (ouest du méridien origine)
Gisement de départ calculé (à partir des coordonnées)	G_d	
Gisement de fermeture calculé (à partir des coordonnées)	G_f	$\text{tg } G_f = \frac{x_B - x_A}{y_B - y_A}$
Gisement de fermeture obtenu à partir des observations	G'_f	
Gisement du zéro du limbe pour une direction d'observation	$G_0 A$ ou $G_{\phi A}$	$G'_f = G_d + n 200g + \sum d_i$
Gisement du zéro du limbe d'un tour d'horizon ou G_0 moyen	G_0	
Angle parallactique	d_p ou \hat{A}_p	$G_0 A = G_{SA} - L_A$ $G_0 B = G_{SB} - L_B$ $G_0 C = G_{SC} - L_C$ $G_0 = \frac{G_0 A + G_0 B + G_0 C}{3}$
Angle stadimétrique	d_s ou \hat{A}_s	$Dh = (\cotg \frac{d_p}{2})^m$
Ecart de fermeture angulaire d'un cheminement	f_a	$d_s = \frac{1}{100} \text{ rd en général}$
Sensibilité d'une visée d'intersection	s	$f_a = G'_f - G_f$
Déplacement d'une visée d'intersection	d	$s_{cm} = 0,157 D^{km}$
		$d_{cm} = s_{cm} \cdot dG \text{ dmgr}$
Angles d'un relèvement sur 4 points et plus	d_1, d_2, \dots ou $\hat{A}_1, \hat{A}_2, \dots$	
Segment capable relatif à AB	(AB)	
Gisement du segment capable	$G(AB)$	$G(AB) = G_{AM_0} + G_{BM_0} - G_{AB}$

Distance courte
(inférieure à 500m)

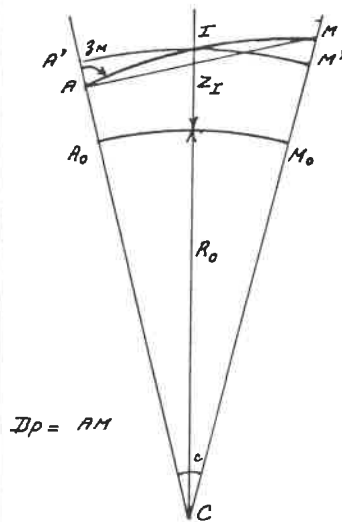


$$D_{h_A} = D_p \sin z_M$$

$$D_{h_A} = D_p \cos i_M$$

$$D_0 \approx D_h \text{ (sauf exception)}$$

Distance de longueur moyenne
(entre 500 et 1500m)



$$Z_I = \frac{Z_A + Z_M}{2} \text{ ou}$$

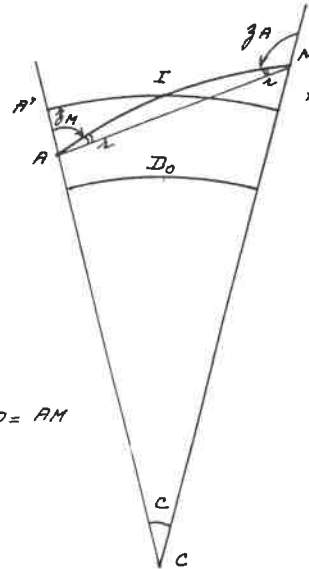
$$Z_I = Z_A + \frac{D_p}{2} \sin z_M \text{ (formule approchée mais suffisante)}$$

$$R_I = R_0 + Z_I = \frac{R_A + R_M}{2}$$

$$D_{h_{AM}} = A'M' = D_p \sin z_M$$

$$D_0 = D_{h_{AM}} \frac{R_0}{R_I} = D_{h_{AM}} \left(1 - \frac{Z_I}{R_0}\right)$$

Distance supérieure à 1500m



$$D_p = AM$$

$$z'_M = z_M + \nu \quad z'_A = z_A + \nu$$

$$Z_I = \frac{Z_A + Z_M}{2} \quad \Delta Z = Z_M - Z_A \text{ (voir §7 Altimétrie)}$$

$$D_0^2 = D_p^2 \frac{1 - \left(\frac{\Delta Z}{D_p}\right)^2}{\left(1 + \frac{Z_A}{R_0}\right) \left(1 + \frac{Z_M}{R_0}\right)}$$

$$D_{h_{AM}} = D_0 \left(1 + \frac{Z_I}{R_0}\right)$$

④ REDUCTION DES DISTANCES DE LONGUEUR MOYENNE(*)

Soit une distance $D_p = AM$ mesurée avec un distancemètre, l'angle zénithale observé en A sur M est z_M , l'altitude de A est Z_A .

Les opérations de réductions décrites dans le tableau (page 7) utilisent les notions de module, coefficient, correction qu'il y a lieu de définir.

- On appelle module m ou multiplicateur voisin de 1 permettant d'obtenir la distance corrigée ou réduite D' (ligne i) à partir de la distance précédente D (ligne $i-1$)

$$m = \frac{D'}{D}$$

$$\textcircled{1} D' = m D$$

ce module peut être supérieur ou inférieur à 1

On appelle correction c la quantité à ajouter à la distance D pour obtenir la distance D' . Cette correction peut être positive ou négative

$$\textcircled{2} D' = D + c$$

$$\text{ou } c = D' - D$$

On appelle coefficient de réduction le quotient de la correction par la distance $k = \frac{c}{D}$ $c = kD$

En remplaçant dans ② et en comparant à ① $m = 1 + k$

Dans certains cas c'est le module qui est directement accessible (lignes 2 et 3 du tableau), dans les autres cas c'est le coefficient (lignes 4 et 5)

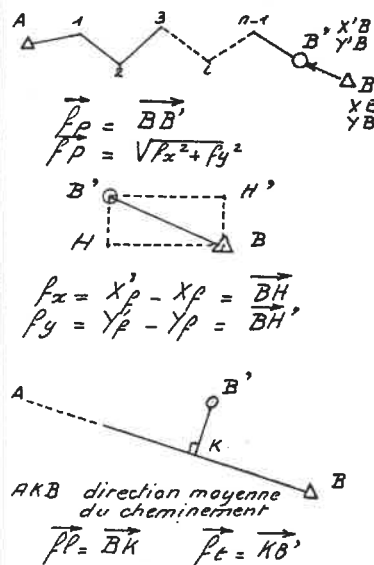
La distance corrigée D' peut être calculée de deux manières : formule ① ou formule ② qui a l'avantage de mettre en évidence la correction et son signe.

(*) Dans le cas de distances supérieures à 1500^m, calculer directement D_0 en fonction de D_p (voir §3)

1	2	3	4	5	6	7
Module, coefficient correction Distances successibles	Module m lignes 4 et 5 $m = 1 + k$	$D' = m D$	coefficient k lignes 2 et 3 $k = m - 1$	correction c $c = k D'$	$D' = D + c$	Observations
1 D_p distance mesurée selon la pente ayant subi les corrections : atmosphérique et constante d'addition	/	/	/	/	/	/
2 $D_{p\text{cor}}$ distance selon la pente, corrigée du défaut d'étalement du distancemètre	module d'étalement $m_E = \frac{B_E}{B}$	$D_{p\text{cor}} = m_E D_p$	coefficient d'étalement $k_E = m_E - 1$	correction d'étalement $C_E = k_E D_p$	$D_{p\text{cor}} = D_p + C_E$	module d'étalement appelé aussi coefficient d'échelle (éviter ce terme) m_E supérieur ou égal à 1 k_E positif ou négatif
3 D_h distance réduite à l'horizon du point d'altitude moyenne	module de réduction à l'horizon $m_h = \frac{D_h}{D_{p\text{cor}}} = \sin^2 M$	$D_h = m_h \cdot D_{p\text{cor}}$	Coefficient de réduction à l'horizon $k_h = m_h - 1$	correction de réduction à l'horizon $C_h = k_h \cdot D_{p\text{cor}}$	$D_h = D_{p\text{cor}} + C_h$	m_h toujours inférieur à 1 k_h toujours négatif
4 D_0 distance réduite à l'ellipsoïde	module de réduction au niveau zéro $m_0 = \frac{D_0}{D_h}$	$D_0 = m_0 D_h$	Coefficient de réduction au niveau zéro $k_0 = m_0 - 1 = -\frac{Z_L}{R_0}$	Correction de réduction au niveau zéro $C_0 = k_0 D_h$	$D_0 = D_h + C_0$	$Z_L = \frac{Z_A + Z_M}{2}$ m_0 toujours inférieur à 1 k_0 toujours négatif
5 D_n distance réduite à la projection	module de réduction à la projection préférable à échelle locale $m_n = \frac{D_n}{D_0} = 1 + k_n$	$D_n = m_n D_0$	Coefficient d'altération des longueurs due à la projection $k_n = n \times 10^{-5}$ ou $k_n = n \text{ cm/km}$	Correction d'altération des longueurs due à la projection $C_n = k_n D_0$	$D_n = D_0 + C_n$	k_n donné par des tables, ou calculé, positif ou négatif
6 pour mémoire : module de réduction d'échelle dans le système de projection Lambert France (I, II, III) $m_L = \frac{\text{rayon du parallèle origine en projection } R_{op}}{\text{apothème du cône tangent } R_0}$		$R_{o(n)} = m_L R_0$ $R_{o(n)}$ est aussi appelé R_0 réduit	/	/	/	Ce module est appelé "coefficient de réduction d'échelle" et désigné par K_0 dans les documents I.G.N. $m_L = 1 - \frac{12}{10^5}$ pour Lambert 10 ⁵ France (I, II, III)

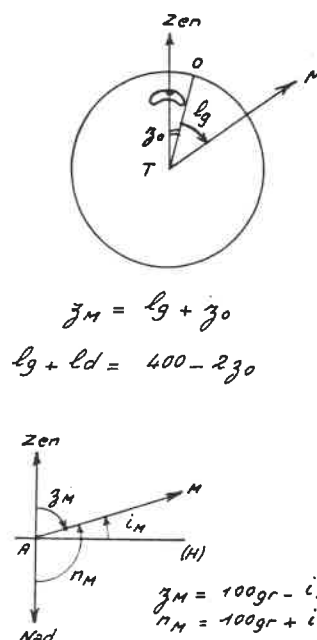
⑤ DESIGNATIONS RELATIVES AUX COORDONNÉES

Coordonnées rectangulaires dans un système national	X	Y
" " de M	X_M	Y_M
Coordonnées d'un point approché M_0	X_0	Y_0
Différence de coordonnées dans ce système	ΔX	ΔY
" " entre ActM	ΔX_{AM}	ΔY_{AM}
Coordonnées rectangulaires dans un système local	x	y
" " de M	x_M	y_M
Différence de coordonnées dans ce système local	Δx	Δy ou D_x D_y
" " entre ActM	Δx_{AM}	Δy_{AM}
Coordonnées de départ connues	X_d	Y_d
Coordonnées de fermeture connues	X_f	Y_f
Coordonnées de fermeture calculées (obtenues à partir des observations)	X'_f	Y'_f
Ecart de fermeture planimétrique	\vec{F}_p	
Tolérance de fermeture planimétrique	T_p	
Ecart de fermeture en abscisse, en ordonnée	f_x	f_y
Ecart de fermeture longitudinal	\vec{F}_l	
Tolérance de fermeture longitudinale	T_l	
Ecart de fermeture transversal	\vec{F}_t	
Tolérance de fermeture transversale	T_t	



⑥ DESIGNATION DES ANGLES VERTICAUX ET DES PENTES

Cercle à gauche, cercle à droite	CG	CD
	ou indices g, d	
Lectures d'angles verticaux	l_g	l_d
Lectures de pente	CG et CD	pg, pd
Angle zénithal (préférable à distance zénithale)	z	
Angle zénithal relatif à M (point visé)	z_M	
Erreur d'index de limbe vertical	$-z_0$	
Correction d'index de limbe vertical	$+z_0$	
Angle nadiral (préférable à distance nadirale)	n	
Angle d'inclinaison ou angle de site positif si visée ascendante, négatif si visée descendante	i	
Angle de site relatif à M (point visé)	i_M	

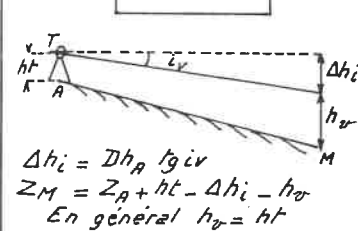


Angle de réfraction	α	(voir fig page 6)
Angle zénithal corrigé de la réfraction	z'	$z'_M = z_M + \alpha$
Angle d'inclinaison corrigé de la réfraction	i'	$i'_M = i_M - \alpha$ (voir fig page 6)
Angle de convergence de deux verticales de deux points	c	(voir fig page 6)
Pente	p	$p = \operatorname{tg} i$
Pente relative à M (point visé)	p_M	$p = \frac{p_a + p_d}{2}$

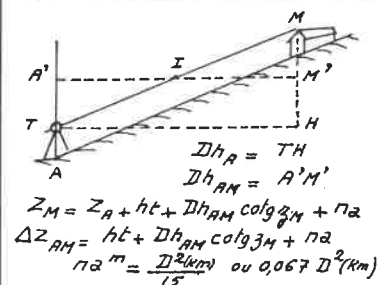
⑦ DESIGNATIONS RELATIVES A L'ALTIMETRIE

Hauteur au dessus ou au dessous du plan de référence ou au dessus du sol	$h, -h$
Hauteur de M	h_M
Différence de hauteur	Δh ou dh
" " entre A et M	$\Delta h_{(AM)}$
Hauteur de l'axe secondaire de basculement au dessus du sol	ht
Hauteur de voyant ou de visée sur mire ou de prisme au dessus du sol	h_v
Dénivelée instrumentale	Δh_i ou dh_i
Altitude dans un système national (altitudes normales IGN 69)	Z
Altitude dans un autre système	H
Altitude de M	Z_M, H_M
- Altitudes de départ, de fermeture connues	Z_d, Z_f H_d, H_f
Dénivelée ou différence d'altitude	ΔZ ou dZ
Dénivelée entre A et M	$\Delta Z_{(AM)}$
correction de niveau apparent	α
Altitude de fermeture obtenue à partir des observations	Z'_f H'_f
Altitude de l'axe secondaire de basculement	Z_t
Nivellement direct ou géométrique	ND
Lectures sur mire en nivellement direct (lecture arrière, lecture avant)	m_{AR}, m_{AV}
Défaut d'horizontalité de la visée d'un niveau	$+ \varepsilon_o$ ou e_o
Correction de non horizontalité de la visée (éviter correction de collimation verticale)	$- \varepsilon_o$ ou $-e_o$

Visée courte



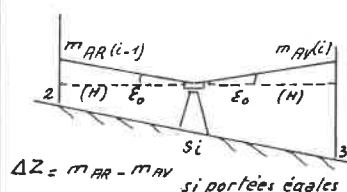
Visée de longueur moyenne



Visée supérieure à 1500 m

- a) Triangulation
 $\Delta Z_{AM} = D h_{AM} \operatorname{tg} \frac{z_A - z_M}{2}$
 avec $D h_{AM} = D_o (1 + \frac{Z}{R_o})$
- b) Multilatération
 $\Delta Z_{AM} = D_p \sin \frac{z_A - z_M}{2}$

$$Z'_f = Z_d + \sum \Delta Z_i$$



Ecart de fermeture altimétrique	f_z	$f_z = Z'p - z_p$
Correction de fermeture altimétrique	c_z	$c_z = -f_z$
Tolérance de fermeture altimétrique	T_z	

③ DESIGNATIONS RELATIVES AUX OBSERVATIONS ASTRONOMIQUES

Respecter dans la mesure du possible les conventions de la connaissance des temps nouvelle formule sauf exceptions ci-après

Déclinaison d'un astre	δ ou d
Ascension droite d'un astre	α ou AR
Longitude	λ ou $Long$
Longitude de M	λ_M ou $Long_M$
Latitude	φ ou Lat
Latitude de M	φ_M ou Lat_M
Angle horaire	H
Temps sidéral	T
Temps universel	UT
Parallaxe	P de préférence à P
Demi diamètre apparent	d
Obliquité de l'écliptique	E ou Ecl
Point vernal	γ ou VER
Relatif au méridien international (de Greenwich)	G en indice
exemple: Temps sidéral de Greenwich	T_G
Angle de réfraction	z de préférence à \bar{r}
Distance zénithale observée	z de préférence à \bar{z}
Distance zénithale corrigée de la réfraction	z' de préférence à \bar{z}
Hauteur ou angle d'indinaison d'un astre	i de préférence à h
Déviation de la verticale	θ ou Dev
Longitude, Latitude astronomique	λ_a, φ_a
Longitude, Latitude géodésique	λ_g, φ_g
Composantes de la déviation de la verticale	
- dans le plan méridien	$\zeta = \varphi_a - \varphi_g$
- dans le plan Est. Ouest	$\eta = (\lambda_a - \lambda_g) \cos \varphi$

⑨ CALCULS, ERREURS

	①	②
Quantité observée	$\overline{D}, \overline{G}, \overline{\alpha}, \overline{A_3}$	D, G, α, A_3
Quantité calculée	D, G, α, A_3	$D_{calc}, G_{calc}, \alpha_{calc}, A_{3calc}$
Incertitude absolue sur mesure de D	ΔD ou dD	$D \pm \Delta D$
Incertitude relative à $x\%$ près		$D \pm (D \times x/100)$
Moyenne arithmétique	indice m	
(par exemple de n distances mesurées)	D_m	$D_m = \frac{D_1 + D_2 + \dots + D_n}{n}$
Ecart	u_i ou e_i	$u_i = D_i - D_m$
Ecart type	σ ou s	
Ecart type relatif aux distances	$\frac{\sigma_D}{D}$ s_D	$\sigma_D = \sqrt{\frac{\sum u_i^2}{n-1}}$, n petit
„ „ aux sites	$\frac{\sigma_i}{i}$ s_i	
Ecart équiprobable	E_p ou e_p	à la probabilité $1/2$ d'être dépassé en valeur absolue
Ecart équiprobable relatif aux distances	$E_p(D)$ $e_p(D)$	
Ecart maximum	E_m e_m	$E_m = 4 E_p$, à la probabilité $1/100$ d'être dépassé en valeur absolue
Tolérance	T	
Moyenne arithmétique de deux mesures de sites direct et inverse dans une portée AM	i_m	$ i_m = \frac{ i_A + i_M }{2}$ signe du site direct i_A
Poids	p	$p = \frac{K}{\sigma^2} = \frac{K'}{T^2}$
Moyenne pondérée, par exemple d'altitudes d'une intersection		$\overline{Z}_m = \frac{p_1 Z_{m1} + p_2 Z_{m2} + p_3 Z_{m3}}{p_1 + p_2 + p_3}$
Résidu		$v_i = Z_{mi} - \overline{Z}_m$ ou $Z_{mi} - \overline{Z}_m$
Intervalle de confiance d'une moyenne, par exemple de mesures de distances	$D_m - E_m \leq D \leq D_m + E_m$ à 99% $E_m = K \sigma_m$, $\sigma_m = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$	
	K fonction du nombre de mesures pris dans les tables de Student et Fisher	

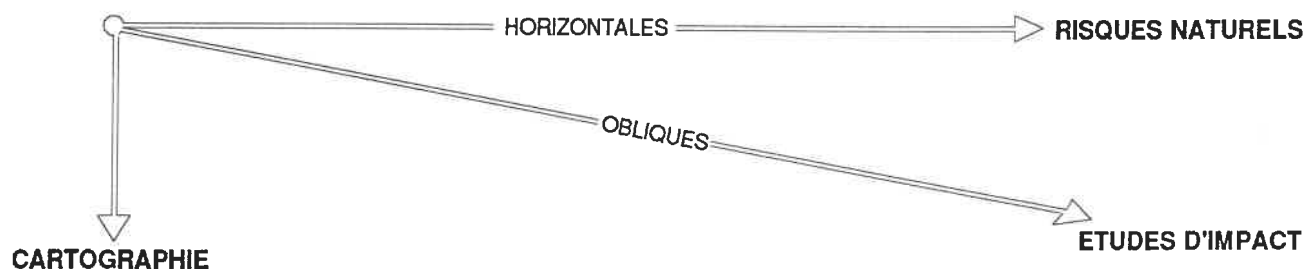
- ① à utiliser lorsqu'il y a prédominance de quantités calculées.
- ② à utiliser lorsqu'il y a prédominance de quantités observées.

**Le Bureau et le Conseil de l'Association Française de
Topographie présentent pour 1988 aux membres,
lecteurs d'XYZ et sympathisants leurs :**

Meilleurs Vœux
Season's Greetings
Felices Fiestas
Поздравляю
Beste Wensen
Frohe Festtage
Buone Feste
謹んで新春のお慶びを申し上げます

prises de vues aériennes

A . P . E . I
aéro photo europe industrie

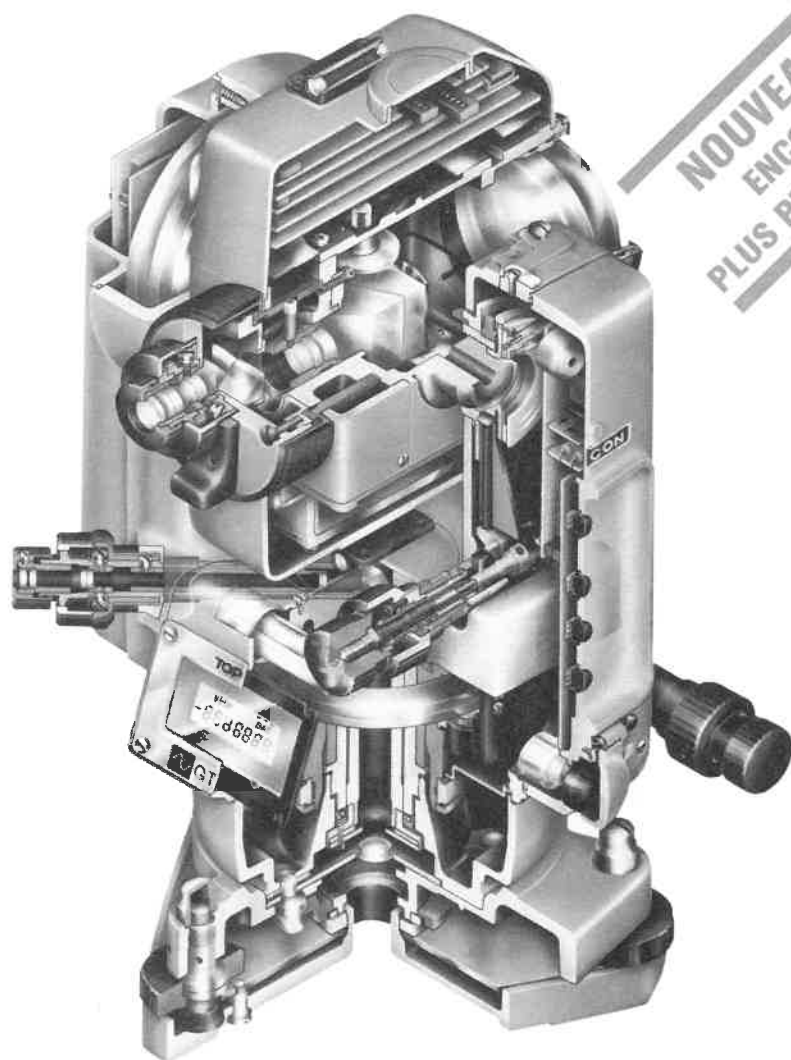


SIEGE SOCIAL ET SERVICES TECHNIQUES : AERODROME DE MOULINS - MONTBEUGNY - ☎ 70.20.63.67 - TELEX 980 882 ATTN : A. MÉMIER

GT53B

TOPCON

TACHEOMETRE ELECTRONIQUE à cœur ouvert



NOUVEAU
ENCORE
PLUS PERFORMANT

ENREGISTREUR



avec :

FC-2

MODULAIRE

FC-2C

Module de calcul
enfichable



- Lectures sur 2 écrans LCD
- Lunette coaxiale grossissement 30 x image droite
- Par simple pression d'une touche vous obtenez :
 - Distance réduite (ou inclinée)
 - Dénivelée
- Calcul des coordonnées
- Mesure de l'angle H par répétition
- Mesure en tracking ou coup par coup
- Enregistrement en tracking

- Portée en conditions normales :
 - avec 1 prisme : 1.300 m
 - avec 3 prismes : 2.200 m
 - avec 9 prismes : 2.700 m
- Précision
 - en distance $\pm 3 \text{ mm} + 3 \text{ ppm}$
 - angulaire $20'' \pm 0,5 \text{ mg}$
- Compensateur automatique du cercle V
- Batterie poignée sans fil

Documentation et démonstration sur demande à :



11 Bis, Rue du Perche, 75003 PARIS - Tél. : (1) 42 71 28 30 - Télex : 240.729



Mesures et géométrie au XII^e siècle selon les auteurs d'Encyclopédies

par Danielle LECOQ

Chargée d'Enseignement d'Histoire Médiévale à l'Université de Paris VII

*"Qui a mesuré dans sa main l'eau de la mer
et évalué les dimensions des cieux ?
jaugé toute la terre au boisseau
pesé les montagnes au poids
et les collines à la balance ?"*

interroge, à l'orée du XII^e siècle, Hugues de Saint Victor (1), reprenant le prophète Isaïe (Is. XL, 12).

Si la Sagesse Divine qui a présidé à la création du monde a fondé toutes choses en nombres, poids et mesures (Sag. XI, 20) ; si le Créateur est le grand "architecte" représenté au XIV^e siècle en introduction au "Livre des propriétés des choses" de Barthélémy l'Anglais procédant à la mise en ordre de l'univers ;



— Livre des propriétés des choses. Barthélémy l'Anglais (1377) Bibliothèque Sainte-Geneviève MS 1028 Fol 14^{ro}.

Tout autour de la sphère étoilée que "façonne" et "mesure" le Créateur, un compas à la main, on peut lire : "J'ai fait le ciel et la lumière pour estre à homme chamberière".

alors, l'homme, en s'efforçant à son tour, de retrouver ces nombres, ces poids et ces mesures qui sous-tendent le monde; non seulement en prend possession — suivant la mission qui lui a été confiée — mais encore il en découvre les harmonies fondamentales qui sont à la base de la grande "machine de l'univers". Prendre la mesure du monde, c'est faire œuvre de géomètre, en même temps que d'artiste, tout en pénétrant plus avant dans la connaissance de la Sagesse qui en est l'origine.

Mais si tout est mesurable, tout néanmoins n'est pas digne d'être mesuré.

Si l'on parcourt les grandes encyclopédies composées en ce début du XII^e siècle, qui se proposent de faire le tour de l'ensemble des connaissances, en même temps

que de rassembler en un bouquet les fleurs les plus merveilleuses de la création, telles le "De Imagine Mundi" d'Honorius Augustodunensis (2), ou le "Liber Floridus" de Lambert de Saint-Omer (3) ; l'on s'aperçoit très vite d'une absence quasi totale des mesures strictement topographiques, laquelle contraste avec l'abondance de celles concernant le cosmos, qui font référence aux rapports entretenus par la terre avec les autres planètes et le firmament.

MESURES DE LA TERRE ET DU CIEL

Rien en effet, ou presque, de ces mesures simples, ordinaires, de celles qui évaluent l'espace d'un lieu à un autre, l'altitude des montagnes ou la longueur des fleuves, telles qu'on les trouvaient encore au IX^e siècle chez Dicuil (4).

Pour nos encyclopédistes, les plus hauts sommets, l'Atlas ou l'Olympe, sont "excelsi" ou "altissimi" ; quant aux lieux, ils sont définis les uns par rapport aux autres par un certain nombre de verbes ou d'adverbes : "hanc sequitur"..., "inde"..., "juxta"..., "post"...

Non pas que les mesures topographiques soient totalement absentes. On apprend incidemment au fil du Liber Floridus que 300 milles séparent Carthage de la petite Syrte "pleine de serpents d'espèces variées et d'animaux sauvages" ; ou encore que le Castrum de Saint-Omer est à 437 lieues* de Rome ; et qu'au troisième jour Dieu fit... la terre divisée en cinq zones... que la longueur de l'Inde jusqu'à l'occident est de 8 577 milles**, celle de l'Europe de 1554 lieues et celle de l'Afrique de 3 040 milles. Quant à l'Asie, elle mesure 1 320 milles de long sur 830 de large. Plus loin encore, on lit que la largeur de notre zone tempérée est de 21 000 stades, et celle de la zone froide de 25 200 stades.

Mais l'essentiel est ailleurs. Il est dans ces mesures qui, dans le Liber Floridus servent de légende à de multiples schémas, et qui définissent :

- la taille de la terre, sa circonférence, son diamètre ;
- l'orbite et la taille du soleil ;
- la distance qui sépare les différentes planètes ;
- celle qui s'étend depuis la terre jusqu'au firmament...

Toutes mesures qui cernent la démesure, conjurent l'infini. Qui définissent l'univers médiéval comme un espace clos, à la manière d'un œuf (5), vivant et parfait.

Pour la circonférence de la terre, les auteurs rapportent les mesures qu'ils ont puisées dans leurs sources, empruntant à Martianus Capella (6) ou à Macrobie (7) tantôt les 252 000 stades ou 31 500 milliaires***, calculés jadis par Eratosthène, tantôt, les 180 000 stades attribués à Ptolémée, tout en s'efforçant, autant que faire

* Dans le même paragraphe - Fol 2^{vo} -, Lambert de Saint-Omer évalue le stade à 125 pieds, et compte 24 stades dans une lieue. Une lieue gauloise a, dit-il, 1 500 pas, soit 3 000 pieds qui font 24 stades.

** Milles traduit ici — milia —, de "mille", mille pas, 1 mille.

*** Quand l'auteur emploie le mot latin "miliaria" ou "milliaris" plutôt que "milia", nous avons choisi de traduire par le terme français de "milliaire" qui marque la distance d'un mille romain, c'est-à-dire de mille pas.

se peut, de concilier les données pourtant contradictoires, de si grandes "Autorités".

Une fois connue la circonférence de la terre, si l'on suit l'enseignement Macrobe il devient possible de calculer la circonférence de l'orbite solaire, et la taille du soleil lui-même.

En effet, l'ombre de la terre, causée par l'absence du soleil lorsqu'en passant dans l'hémisphère inférieur, il provoque la nuit, égale en hauteur le diamètre de la terre multiplié par 60. Or la terre étant au centre de l'univers et au centre du cercle décrit par le soleil, la longueur de cette ombre n'est autre que le rayon de l'orbite solaire dont il devient aisé dès lors de calculer la circonférence.

C'est ce à quoi s'emploie Lambert de Saint-Omer dans le "Liber Floridus" — fol. 92^o — s'efforçant de suivre pas à pas le raisonnement de Macrobe :

- calculant le diamètre terrestre, soit un peu plus de 80 000 stades ;
- la hauteur de l'ombre de la terre : $80\,000 \times 60$ soit 4 800 000 stades ;
- le diamètre de l'orbite solaire de 9 600 000 stades ;

et puisque la circonférence égale trois fois le diamètre plus son septième, la circonférence de l'orbite solaire : 30 170 000 stades.

Alors en possession de la circonférence de l'orbite solaire, il devient possible — comme l'ont montré les Egyptiens — de calculer la taille même du soleil dont le diamètre représente la 216^e partie de son orbite soit 140 000 stades environ, un peu moins du double du diamètre terrestre. Et comme :

"il est certain par la preuve du calcul géométrique, que, lorsque de deux cercles le diamètre de l'un l'emporte du double sur celui de l'autre, le cercle dont le diamètre est le double, est 8 fois plus grand que l'autre cercle",

LE SOLEIL EST DONC 8 FOIS PLUS GRAND QUE LA TERRE

Si tous ne reprennent pas in-extenso, comme le fait Lambert, le calcul proposé par Macrobe, si d'autres, se fondant sur des traditions et des "Autorités" différentes proposent d'autres évaluations ; tous s'accordent cependant à reconnaître que la terre n'est qu'un point dans l'univers, 8 à 4 fois plus petite que le soleil, plus petite que toutes les étoiles, plus petite même que la lune ; et que notre zone habitée, n'est qu'une "petite île", un flot lové au cœur du monde.

Mais tandis que les uns s'efforcent d'embrasser l'espace, d'autres posent les jalons qui mènent de la terre au firmament.

Au chapitre 88 du Livre II du "De Imagine Mundi" intitulé "De mensura", Honorius Augustodunensis rapporte que :

de la Terre à la Lune il y a 126 000 stades, autrement dit 15 625 milliaires ; de la Lune à Mercure 7 812 milliaires et demi ; de Mercure à Vénus autant ; de Vénus au Soleil 23 437 milliaires et demi ; du Soleil à Mars 15 630 milliaires et demi ; de Mars à Jupiter 7 812 milliaires et demi ; la même distance de Jupiter à Saturne ; de Saturne au firmament 23 437 milliaires et demi.

Et donc, de la terre au ciel 109 375 milliaires.

De son côté, Lambert de Saint-Omer, en de multiples endroits, répète des chiffres empruntés à Macrobe, d'où il ressort, avec quelques variantes liées parfois à une mauvaise transcription ou à des manuscrits défectueux, que :

- de la Terre à Saturne il y a 688 000 stades, soit 80 937 milliaires ;

ou encore :

de Jupiter à Saturne 72 000 stades ; de Mars à Jupiter 72 000 stades ; du Soleil à Mars 125 000 stades ; de Lucifer au Soleil 188 000 stades ; de Mercure à Lucifer 62 000 stades ; de la Lune à Mercure 62 000 stades ; de la Terre à la Lune 125 000 stades.

Mesures que tous disent être celles de Pythagore, et qui en dépit de leurs différences apparentes s'avèrent très proches sinon semblables.

Mais quelles qu'elles soient, jusqu'à varier d'un folio à l'autre, chez le même auteur, l'important tient moins dans les mesures elles-mêmes, que dans les rapports qu'elles révèlent et dans les nombres qui les expriment.

Comme l'explique clairement Honorius Augustodunensis dans le "De Imagine Mundi" :

"La distance de la terre à la Lune, qui est de 126 000 stades, représente un ton ; celle de la Lune à Mercure un demi-ton ; de Mercure à Vénus un demi-ton ; de Vénus au Soleil trois demi-tons ; du Soleil à Mars un ton ; de Mars à Jupiter un demi-ton ; de Jupiter à Saturne un demi-ton, enfin de Saturne à la sphère des signes trois demi-tons. Tous ces intervalles ajoutés les uns aux autres forment sept tons" (8).

Sept tons qui constituent l'harmonie universelle, sept tons qui sont ceux de la musique céleste que nos oreilles humaines ne peuvent percevoir et dont la musique terrestre qui s'efforce de les reproduire nous renvoie un écho assourdi.

L'ancienne idée pythagoricienne de la musique céleste et de l'harmonie des sphères, transmise à travers Macrobe et Martianus Capella, retrouve ainsi chez les encyclopédistes du XII^e siècle, dans les milieux intellectuels profondément influencés par la conception platonicienne de l'univers, un regain de jeunesse.

Mais au-delà des rapports que ces mesures entretiennent entre elles, la perfection du monde se révèle aussi à travers les nombres qui les expriment.

Ainsi Jean Scot Erigène propose d'ajouter à la circonférence du monde qu'il évalue à 3 000 000 de stades, 276 000 stades "pour que le monde entier soit compris dans la perfection sénaire" (9).

Nombre 6, à la fois parfait et circulaire, parfait parce qu'égal à la somme de ses diviseurs : $1 + 2 + 3 = 6$; circulaire, parce que multiplié indéfiniment par lui-même il se reproduit toujours dans son dernier chiffre. Chiffre parfait, non parce que Dieu accomplit son œuvre en 6 jours, mais parfait au point que Dieu décida d'accomplir son œuvre en 6 jours. Ce même nombre 6, que, toujours d'après Jean Scot, l'on retrouve dans le diamètre de la terre qui, selon lui, vaut 126 000 stades, la même distance qui sépare la terre de la lune...

C'est que "rien après Dieu n'est plus parfait que le nombre... car rien parmi les réalités de ce monde ne nous donne une plus pure image des substances spirituelles. Sans le nombre aucune créature ne pourrait subsister, tandis que les nombres pour exister n'ont pas besoin d'un support matériel" (10).

Ainsi derrière ces mesures du Cosmos, c'est la beauté du monde qui se laisse percevoir, à travers l'harmonie, l'ordre, la perfection voulue par la Sagesse qui a présidé à sa création.

MESURE DES ŒUVRES HUMAINES

Si le monde inférieur — l'enfer — qui s'étend en dessous de la lune, ne peut rivaliser avec le domaine éthéré des sphères supérieures — l'Elysée —, cependant la terre, la plus petite de toutes les planètes, fixe, immobile, silencieuse, comme un point au centre de l'univers, n'en reste

pas moins le domaine de l'homme créé à l'image de Dieu, auteur d'un certain nombre d'œuvres remarquables, dont quelques-unes appartiennent au domaine de la mémoire, et que les auteurs se plaisent à rapporter dans leurs dimensions.

Ainsi l'**arche**, construite par Noé sur l'ordre de Dieu pour échapper au déluge (Gen VI, 15-16), avant que les eaux ne recouvrent la terre et ne dépassent les montagnes les plus hautes de plus de 15 coudées. Longue de 350 coudées (sic), large de 50 et haute de 30 ; pourvue de cinq gîtes, l'un pour le fumier, le second servant de magasin, le troisième pour les animaux sauvages, le quatrième pour les animaux apprivoisés, le cinquième enfin pour les hommes — Fol 209 r° — toutes les références qui suivent, renvoient au Liber Floridus.



L'Arche de Noé. Cathédrale Saint-Lazare d'Autun (XII^e).

Ou encore cette **tour de Babel** qui n'a cessé de hanter les imaginations médiévales jusqu'à Breughel, tour dont la hauteur était de 4 000 pas, ou de 64 stades, et dont l'ombre, dit-on, s'étendait à midi jusqu'à sept lieues.

"Babel se trouvait à l'endroit où est la grande Babylone construite par la reine Sémiramis en briques et en bitume pour résister au feu et à l'eau, sur une étendue de 60 milles en long et en large, et avec des murs de 50 coudées d'épaisseur et de 150 coudées de hauteur", (11)

ville carrée, percée de 100 portes d'airain, traversée par l'Euphrate...



La Tour de Babel.

D'après "l'Ymage del Monde" de Gossuin de Metz. Bibliothèque Sainte-Geneviève Ms 2200 Fol 76 r°.

Carthage la grande, construite par Didon, aux murs de 17 coudées de large.

Jérusalem où Salomon fit édifier le Temple — la maison de Dieu — de 60 coudées de long sur 20 de large, précédé d'un portique de 20 coudées de long et de 120 de haut ; Temple dont le Saint des Saints, faisait 20 coudées en long et en large. Avec, sur le devant, deux colonnes de 35 coudées de haut surmontées de chapiteaux de 5 coudées ; et un autel de bronze de 20 coudées de long, 20 de large et 10 de hauteur — Fol 65 r° —.

Jérusalem "l'ombilic de la terre", là où fut enseveli le Seigneur.

"Tel était le sépulcre du Seigneur. Il y avait dans le jardin, une grande pierre d'un blanc éclatant veillée de pourpre, dans son flanc on avait creusé le sépulcre où neuf hommes auraient pu tenir et dont on aurait pu toucher la voûte du bout de la main. Dans la partie nord était creusée la tombe du Seigneur de sept pieds de long et trois palmes et demi de large. La porte de la grotte ouvrant à l'orient de telle sorte que la tête du Seigneur soit tournée vers l'occident, et ses pieds vers l'orient, sa main droite vers le midi et la gauche vers le nord". (12)

Sépulcre aujourd'hui surmonté d'une église ronde au pavement de marbre blanc, au toit recouvert de feuilles d'or à l'extérieur et orné à l'intérieur d'un enduit doré.

Rome enfin, "caput mundi", la ville de Saint-Pierre et de ses successeurs, représentants du Christ sur la terre, en ces temps, ou depuis Grégoire VII la papauté s'affirme hautement face au pouvoir séculier.

Rome dont l'Eglise du Bienheureux Pierre mesure 200 pieds de large et 510 de long et ne possède pas moins de 80 autels — Fol 168 r° —.

Mesures exemplaires, à la fois parce qu'elles reproduisent la perfection de l'univers : derrière les 7 lieues de l'ombre de Babel, les 7 pieds de longueur du tombeau du Christ, se profile l'harmonie des 7 planètes et 7 tons de la musique. En même temps qu'elles servent à leur tour de modèles.

Ainsi le Saint Sépulcre élevé à Cambrai dans les années 1063-1064 est :

"rond à la manière de celui de Jérusalem, et le marbre qui le recouvre a sept pieds de longueur, c'est-à-dire la longueur même du lieu où fut déposé le corps du Seigneur" (13).

Tandis que Cluny III — dont l'un des architectes Gauzon était maître dans l'art de la psalmodie — selon les calculs de K.J. Conant, se veut à la fois une réplique de Rome et du Temple de Jérusalem, en même temps qu'elle reproduit cette "perfectio numerorum" fondée sur les chiffres symboliques de 7 — qui est dans le sanctuaire la dimension clef, — ; 110 qui est la somme des dimensions du Temple de Salomon ; 140, le chiffre de la Résurrection.

"Et si l'on multiplie les divers modules de la grande église (5, 7, 10, 25, 31 pieds) séparément et individuellement, par la séquence musicale de Pythagore (1/2, 1, 2, 3, 4, 6, 8, 9, 12, 16) le tableau des chiffres qui en résulte donne toutes les dimensions principales de l'Eglise" (14)

Plutôt que la hauteur des montagnes, ou la longueur des fleuves, les encyclopédistes du XII^e siècle ont surtout retenu l'ampleur de cités. C'est-à-dire l'œuvre des hommes, quand l'homme se fait créateur, démiurge, à l'exemple de Dieu. Mais là où certains œuvraient selon le sens du plan divin, construisant les cités du salut, d'autres, emportés par l'hubris, l'orgueil, s'efforçaient d'atteindre et de dépasser les cieux, créant les cités de la perte. D'un côté Babylone, la ville de Babel édifée par Nemrod le géant, de l'autre Jérusalem, image de la cité à venir.

Villes-repères, autour desquelles se sont faits et défaits des empires, qui sont la trame d'une histoire qui se déroule comme une pelote d'orient vers l'occident, d'une histoire double, à la fois celle de la chute en même temps que celle du salut, celle des fils de Seth et celle des fils de Caïn, dont les villes dans leur dualité — cité du refuge ou de la perdition — : reflètent cette lutte acharnée engagée sur la terre depuis la faute, lutte incessante du Bien et du Mal qui doit trouver son terme dans le jugement.

Ainsi derrière les simples données numériques que constituent les mesures du monde proposées par les encyclopédistes, c'est toute une conception de ce monde qui se fait jour, d'un monde où le domaine céleste, celui des sphères supérieures où se déploie la beauté et l'harmonie, s'oppose au monde sublunaire, où rôde encore le mal et le péché, engagé dans un combat dont l'issue en ce début du XII^e siècle semble prochaine.

LA GEOMETRIE, OU L'ART DE LA MESURE

Cette approche du monde qui permet d'en révéler les structures les plus profondes, l'un des sept Arts Libéraux — chargés de libérer l'homme des ténèbres de l'ignorance dans lesquelles l'ont plongé la faute et le péché — en est particulièrement investi. C'est la géométrie, avec l'aide parfois de celle que Baudri de Bourgueil nomme sa sœur jumelle, l'astronomie.

La géométrie se définit comme la discipline qui propose la connaissance de la grandeur immobile et des formes, et qui principalement, mais sans exclusive, se consacre à la mesure de la terre.

"Découverte par les Egyptiens qui, puisque le Nil dans son débordement recouvrait tout leur territoire de boue, et brouillait toutes les limites entreprirent de mesurer la terre avec des perches et des cordes. Ensuite des savants l'appliquèrent et l'étendirent à la mesure de la mer, du ciel, de l'atmosphère et de tous les corps". (15)

Ainsi née de façon pragmatique, fille de la nécessité, la géométrie s'est hissée peu à peu au niveau de la science spéculative par l'intermédiaire d'un certain nombre de Sages, "d'Autorités" parmi lesquelles Eratosthène "doctissimus" ; "sagacissimus" qui le premier mesura la circonférence de la terre ; Euclide "qui fut le plus grand parmi les Grecs", Boèce qui le transmit aux Latins, sans oublier Aratus, Varron et quelques autres... Passant de la simple mesure du sol à celle de la terre entière et du ciel, jusqu'à atteindre ce rôle de "justice politique" garante de la paix, en même temps qu'instrument privilégié pour percer les secrets divins de la création.

Une extension de son champ d'expérience que la Géométrie doit à ses trois composantes :

— **La planimétrie** qui mesure le plan, c'est-à-dire la longueur, la largeur, et en élargissant son objet ce qui est devant et derrière, à gauche et à droite.

— **L'altimétrie**, qui mesure la hauteur, à la fois celle qui est au-dessus et celle qui est en dessous, car la hauteur se dit en même temps de la mer, dans le sens de profondeur, et d'un arbre en parlant de son élévation ;

— enfin **la cosmimétrie**, ou mesure de l'univers. La cosmimétrie mesure ce qui est sphérique c'est-à-dire en forme de globe et rond, comme une balle ou un œuf. C'est pourquoi on l'appelle cosmimétrie, du nom même de la sphère de l'univers, en raison de la prééminence de cette sphère. Non pas que la cosmimétrie ne s'occupe que de la mesure de l'univers, mais parce que de toutes les sphères, celle du monde est entre toutes la plus digne (16).

Dans cette entreprise, la géométrie a pu trouver l'appui de l'astronomie. Tandis qu'elle même s'intéresse dans la sphère du monde à la dimension des régions et des cercles du ciel... à l'espace..., au contraire, l'astronomie

s'enquiert de tout ce qui est mobile, du cours des astres et de celui du temps. Toutes deux ont les mêmes préoccupations mais l'une contemple ce qui demeure, l'autre ce qui passe.

Occupée à mesurer le monde, c'est ainsi que les auteurs, poussés par leur goût prononcé pour l'allégorie, encouragés par l'exemple de Martianus Capella, se sont empressés de la décrire et de la représenter :

Munie de son **abaque**, de cette petite table recouverte de poussière verte sur laquelle elle trace des figures, dresse des épures, s'emploie à représenter de mémoire les contours de la terre, à exécuter une mappemonde, avec ses villes, ses fleuves, ses montagnes... elle tient à la main la "**virga geometricalis**", le "**radius**", c'est-à-dire la canne à mesurer, semblable à celle de l'ange qui dans la vision d'Ezechiel (Ez. XL, 3) prend les mesures du Temple, ou encore au roseau gradué d'or de l'ange de l'Apocalypse (Ap. XXI, 15), chargé de mesurer la "Ville" avec ses portes et ses remparts ; canne parfois remplacée par le **grand compas** à pointe sèche, ou encore par l'**équerre**, tous ces instruments qui entourent le maître chargé de l'enseigner, sur une miniature du XIII^e siècle illustrant un manuscrit de Gossuin de Metz conservé à la bibliothèque Sainte-Geneviève, intitulé le "livre de clergie en romans Ki est appelé l'ymage del monde".



La Géométrie.

Bibliothèque Sainte-Geneviève. Ms 2200 Fol. 58 v^o.

*"La qinte a non Gyometrie
Ki plus vaut a Astronomie
Ke nule qui chi est nomée ;
Par li est elle mesurée
Car elle compasse et mesure
Par li puet on savoir le cours
Des estoilles ki vont tous jors
Et la grandor del Firmament
Souleil, Lune, terre ensement
Par li set on le verité
De toutes riens la quantité
Ja si lointaine ne sera
Mais ke on voie jusques là,
Ki bien entent Geometrie
Voit mesure en toute mestie
Par mesure fu fais li mondes
Et hautes choses et profondes".*

Gossuin de Metz - Transcription de l'Abbé Lebeuf. "Dissertations sur l'histoire ecclésiastique et civile de Paris suivies de plusieurs éclaircissements sur l'histoire de France". T.II Paris 1741 p. 322.

C'est ainsi que la décrit Baudri de Bourgueil dans son éloge d'Adèle de Blois, la fille de Guillaume le Conquérant, faisant le portrait des arts libéraux supposés orner les murs de la chambre de la princesse identifiée de façon flatteuse à la Sagesse (17).

Telle la décrit Alain de Lille dans l'Anticlaudianus :

"La vierge porte une longue baguette avec laquelle elle dessine le contour de la terre, avec laquelle elle en mesure l'espace, avec laquelle elle enferme la mer en des limites précises, avec laquelle elle parcourt le cercle des hauteurs du ciel. Et bien que sa tunique soit éclaboussée d'une fine poussière, la beauté de la matière et celle de l'étoffe n'en sont point ternies. De nombreuses figures l'embellissent et la parent d'un vif éclat"... (18)

et encore Chrétien de Troyes (19), brodée sur la robe revêtue par Erec lors de son couronnement :

"Quatre fées l'avaient faite avec une grande sagesse et un grand art. L'une y avait représenté la Géométrie, comment elle observe et mesure les dimensions de la terre et du ciel en sorte que rien ne lui échappe, tantôt le bas, tantôt le haut, puis la largeur, puis la longueur ; ensuite, elle observe tout au long l'étendue et la profondeur de la mer et mesure ainsi le monde entier. Cet ouvrage fut l'œuvre de la première fée".

Digne compagne d'un roi, indispensable à l'exercice du pouvoir.

Telle on peut la voir au portail sud de la façade occidentale de la cathédrale de Chartres, édiflée entre 1145-1155 et seule rescapée du grand incendie de 1194.

Les sept Arts Libéraux, personnifiés sous les traits de femmes tenant à la main les attributs de leur art, accompagnées de l'un des "fondateurs" — comme assises sur le socle de leur autorité — entourent la Théotocos, la Sagesse représentée par la Mère du Verbe divin incarné.

Là, au sommet de l'archivolte, un compas aujourd'hui brisé à la main, assise devant son abaque, appuyée sur l'autorité d'Euclide l'auteur des "Eléments" dont Adé-
lard de Bath vient de donner la première traduction complète à partir d'un manuscrit arabe, la Géométrie fait face, au sommet de l'archivolte, à l'Arithmétique, chargées toutes deux, à l'aide des mesures et des nombres, selon les termes mêmes de Thierry de Chartres, alors chancelier de la cathédrale, de conduire l'homme à la connaissance du Créateur. (20)

Mais toute spéculative et théorique qu'elle soit devenue, la géométrie, est en passe en ce début du XII^e siècle de retourner à la "pratique".

Vers 1120-1130, Hugues de Saint-Victor rédige une "Practica Geometriae" dont le but n'est plus l'étude rationnelle des principes d'ordre quantitatif mais l'application de ces principes au moyen d'instruments. (21)

Au même moment dans le "De eodem et diverso", Adé-
lard de Bath après avoir assigné à la géométrie le rôle de partage du sol, renouant ainsi avec les pratiques des agrimensores romains, examine un certain nombre de techniques destinées à mesurer la hauteur d'une tour, ou la profondeur d'un puits (22).

Une pratique qui allait connaître son grand développement dans le monde des "maîtres d'œuvres" des "architectes" reprenant comme emblème le compas à pointe sèche de la géométrie ; et dans celui des "arpenteurs", chargés dans les Villes-neuves, les Sauvetés, les Bastides, de délimiter le terrain et de répartir les lots entre les villageois. La géométrie retrouve ici sa fonction originelle de garante de l'ordre et de la paix.

Portail sud de la façade occidentale de la cathédrale de Chartres (XII^e).
La Géométrie et Euclide. →



ETALONS DE MESURE

En même temps qu'elle se fait plus pratique, la géométrie voit se multiplier les traités de "mesures". Puisqu'il convient de mesurer le monde, encore faut-il savoir à quel étalon le rapporter.

Hugues de Saint-Victor consacre un court traité, fortement inspiré d'Isidore de Séville, à la mesure des sols (23), où il définit les principales mesures usitées :

"La plus petite des mesures usitées pour les sols qui ait une dénomination propre est le doigt. Tout ce qui est inférieur à un doigt s'évalue en fractions. Nous fixons la mesure du doigt en prenant l'épaisseur du pouce à l'origine des ongles.

4 doigts font une palme,

4 palmes un pied.

La petite coudée mesure 1 pied 1/2.

3 pieds font un pas — gradus —

4, une brasse

5, un double-pas — passus —

9 pieds font une grande coudée,

10 pieds une perche.

Toutes ces dénominations valent à la fois pour la mesure elle-même et pour la distance mesurée.

125 pas — passus — font un stade.

Il faut 8 stades pour faire un milliaire ;

1 milliaire 1/2 égale 1 lieue".

De son côté Lambert de Saint-Omer, dans le "Liber Floridus", après avoir énuméré les distances entre les planètes, précise que :

1 stade fait 125 pas

et qu'il faut 24 stades pour faire une lieue.

Quant à Honorius Augustodunensis dans la "Clavis physicae", il rapporte que le stade de 125 pas aurait été mesuré pour la première fois par Hercule à proximité de l'Olympe, et qu'il vaudrait, selon le mode de calcul grec, 6 jugères, 100 coudées, 240 pas (gressus), 40 brasses et 600 pieds. Quant à la coudée, telle qu'elle sert à mesurer l'arche de Noé ou le Temple, elle ne vaut pas plus de 2 palmes 1/2, une palme étant calculée depuis le sommet du pouce jusqu'au sommet du petit doigt (24).

Mais ne nous y trompons pas, il serait vain de chercher une quelconque convergence, de tenter de démêler l'inextricable réseau des mesures médiévales ; à la fois parce que chaque traité n'est qu'un arbre qui cache la forêt des mesures réellement utilisées et que tout système de mesure existe en lui-même, indépendamment des autres, recouvrant une réalité particulière qui lui est propre.

Cependant, il n'est pas sans intérêt de remarquer que toutes ces mesures qui sont celles d'intellectuels (25) s'originent dans le corps humain.

L'homme, à la charnière de l'univers en ce qu'il appartient par sa nature à la fois au monde matériel et sensible et au monde spirituel, en apparaît comme le fidèle reflet. Non seulement dans sa composition, mais aussi, parce qu'il en reproduit les lois. Il est un microcosme, un "monde en réduction", "minor mundus", à la fois structurel et élémentaire auquel l'univers entier vient se référer.

Tel il apparaît sur un dessin de l'"Hortus Deliciarum" d'Herrade de Landsberg :

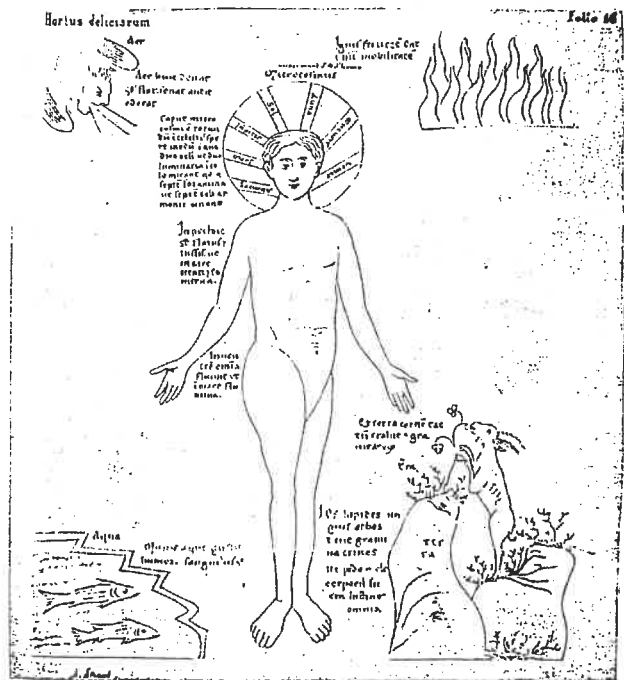
Entouré des 4 éléments :

le **Feu**, en haut à droite, représenté par des flammes, qui lui donne la mobilité ;

l'**Air**, en haut à gauche, sous les traits d'un vent, qui lui confère le souffle et l'odorat ;

l'**Eau**, en bas à gauche, où nagent deux poissons, semblable à ses humeurs et à son sang ;

la **Terre** enfin, sous la forme d'un rocher recouvert d'herbes et d'arbustes que broute un bouquetin, qui est la substance même de sa chair.



HERRADE DE LANDSBERG, abbesse de Sainte-Odile, *Hortus Deliciarum*,

éd. A. Staub, fasc. 1, pl. VI, Strasbourg, 1879. —

En outre, sa **Tête**, entourée des rayons des sept planètes est ronde comme le ciel ;

Ses **Yeux**, sont comme les grands luminaires, le Soleil et la Lune ; les 7 orifices des sens rappellent les 7 "harmonies" célestes ;

Sa **Poitrine** d'où vient le souffle et la toux ressemble à l'air où s'agitent les vents et les orages ;

Son **Ventre** reçoit les liquides comme la mer les fleuves ;

Ses **Pieds** portent le poids du corps comme la terre supporte toutes choses ;

Ses **Os** participent à la dureté des pierres ;

Ses **Ongles** croissent comme les arbres ;

Ses **Cheveux** sont beaux comme les herbes.

Il est le "minor mundus" qui participe à la fois à la vie végétative des plantes, qui sent avec les animaux, pense avec les anges.

Comme la musique et le monde, il est "uni de sept modes" lui dont le corps formé des quatre éléments est joint à l'âme pourvue de trois facultés ;

Lui dont le nom générique est **Adam**, qui résume en lui les initiales des "4 climats" qui s'appellent en grec : — Anathole, Disis, Arctos, Mesembria — c'est-à-dire la totalité du monde (26).

Et comme tel, petit monde à l'image du grand, crée de surcroît à l'image de Dieu, chargé du "dominium" sur l'ensemble de la création, l'homme est l'aune à laquelle l'univers s'évalue. Son doigt, sa paume, son coude, son pied mesurent le monde entier :

— Arrivé au terme de son voyage, le guide du pèlerin de Saint-Jacques-de-Compostelle, décrit la basilique dont il souligne la beauté parfaite :

"Elle est, dit-il, admirablement construite, grande, spacieuse, claire, de dimensions harmonieuses, bien proportionnée en longueur, largeur, hauteur".

et dont il donne les mesures :

"La basilique de Saint-Jacques mesure en longueur cinquante-trois fois la taille d'un homme, depuis la porte occidentale jusqu'à l'autel du Saint-Sauveur ; en largeur quarante fois moins une, depuis la porte de France, jusqu'à la porte méri-

dionale ; quant à l'élévation intérieure, elle est de quatorze hauteurs d'hommes ; mais nul ne peut mesurer ce que sont, à l'extérieur, la longueur et la hauteur de l'édifice.

L'église comporte neuf nefs dans sa partie inférieure et six dans la partie haute et une tête (chapelle) plus grande que les autres où se trouve l'autel du Saint-Sauveur, une couronne (déambulatoire entourant le chœur), un corps (nef) et deux membres (bras du transept) et huit autres petites têtes (chapelles) ; dans chacune d'elles se trouve un autel. Chacune des grandes nefs mesure en largeur onze fois et demie la taille d'un homme ; nous évaluons la taille d'un homme juste à huit palmes". (27)

Mesure de ce cosmos en miniature qu'est l'église, l'homme l'est aussi du grand univers au centre duquel il est placé, comme le résume visuellement une illustration du "Liber divinorum operum" d'Hildegarde de Bingen, où sous l'égide de la Sagesse créatrice, l'homme embrasse de son corps tout entier l'étendue de l'univers.



Hildegarde de Bingen. "Liber divinorum operum". Bibliothèque de Lucques - Mr. nr. 1492. Fol. 9r°.

NOTES ET BIBLIOGRAPHIE

- (1) HUGUES de SAINT-VICTOR, *De Tribus Diebus*, P.L. 176, col. 814D. HUGUES de SAINT-VICTOR († 1141) Chanoine de l'abbaye de Saint-Victor aux portes de Paris dont il fut l'un des maîtres les plus éminents. Voir : J. Chatillon, "La Culture de l'Ecole de Saint-Victor au XII^e siècle" in *Entretiens sur la Renaissance du XII^e siècle*, sous la direction de M. de Gandillac et E. Jeuneau, Paris - La Haye, 1968, pp. 147-160.
- (2) *De Imagine Mundi*, P.L. 172, col. 121-196. Nelle éd.

V. FLINT in *Archives d'Histoire Doctrinale et Littéraire du Moyen Age*, 1981, pp. 48-151.

Le *De Imagine Mundi* a été composé par HONORIUS AUGUSTODUNENSIS, sans doute moine bénédictin, au tout début du XII^e siècle, peut-être dans sa première rédaction vers 1110. Destiné, comme l'auteur le précise dans la préface d'une rédaction ultérieure à fournir aux clercs privés de livres les rudiments indispensables à la connaissance du monde. L'ouvrage a très vite été adapté en langues vernaculaires, et a connu un énorme succès durant tout le Moyen Age.

(3) L'édition du manuscrit original du *Liber Floridus* conservé à la bibliothèque de l'université de Gand a été donnée par A. DEROLEZ, *Liber Floridus Codex Autographus Bibliothecae Universitatis Gandavensis*, Gand, 1968. Composé vers 1120 par LAMBERT, chanoine de la collégiale Sainte-Marie à Saint-Omer, l'ouvrage qui se propose de rassembler les faits les plus merveilleux de la création a connu un rayonnement plus restreint et plus local que le *De Imagine Mundi*. Il n'en demeure pas moins un incomparable témoignage sur les connaissances, les goûts, les lectures... d'un clerc du début du XII^e.

(4) DICUIL, d'origine irlandaise, l'un des "fondateurs" de la "Renaissance carolingienne", est l'auteur du "De Mensura Orbis Terrae" composé au début du IX^e siècle vers 825, éd. J.-J. TIERNEY, *Dicuili Liber de Mensura Orbis Terrae*, Dublin 1967.

Dans son prologue, Dicuil explique qu'il a voulu composer un ouvrage sur les mesures des provinces en s'appuyant sur les informations rapportées par les envoyés de Théodose, et sur l'autorité de Plinius.

(5) La comparaison entre la forme d'un œuf et celle du monde est un lieu commun de la littérature cosmographique au XII^e siècle ; voir : P. DRONKE, *Fabula. Explorations into Uses of Myth in Medieval Platonism*, Leyde-Cologne, 1974.

(6) MARTIANUS CAPELLA (IV^e s.) est l'auteur du "De Nuptiis Philologiae et Mercurii" éd. J. WILLIS, Leipzig, 1983. Sorte de roman allégorique composé en Afrique à la fin du IV^e siècle ou au début du V^e, destiné à l'enseignement de son fils, et qui allait devenir le livre de chevet des clercs du Moyen Age. Martianus présente les Arts Libéraux se rendant au mariage de la Philologie et de Mercure ; Le Livre VI est consacré à la Géométrie, et le Livre VIII à l'Astronomie. Commenté à l'époque carolingienne par Dunchad, Rémi d'Auxerre, Jean Scot Erigène, l'ouvrage allait connaître un vif succès au XII^e siècle. Lambert de Saint-Omer s'y réfère abondamment. C'est à lui qu'il emprunte les mesures d'Eratosthène, celles de Ptolémée. Sur le rôle de Martianus Capella au Moyen Age voir : W.H. STAHL, *Martianus Capella and The seven Liberal Arts*, vol. 1, *The Quadrivium of Martianus Capella. Latin Traditions in the Mathematical Science*. 50 B.C.-1250 A.D., New York, 1971.

(7) MACROBE (V^e S.) est l'auteur d'un "Commentaire sur le Songe de Scipion" éd. J. WILLIS, *Macrobius Commentarii in Somnium Scipionis*, Leipzig, 1963. Avec le *De Nuptiis*... l'ouvrage de Macrobie qui transmet une partie de l'héritage Pythagoricien et Stoïcien, allait devenir l'un des livres fondamentaux pour la cosmographie médiévale. Voir : P. COURCELLE, La Postérité du Songe de Scipion "Revue des Etudes latines", XXXVI, 1958, pp. 205-234. Lambert de Saint-Omer, qui en retranscrit de nombreux passages, y a puisé la méthode de calcul de la circonférence de l'orbite solaire, et celle de la taille du soleil, les mesures des zones froides et tempérées... Voir aussi : W.H. STAHL, "Astronomy and Geography in Macrobius", *Transactions and Proceedings of American Philological Association*, vol. LXXIII, 1942, pp. 232-258.

(8) *De Imagine Mundi*, Liv. I, ch. 81, P.L. 172, col. 140B. P. DUHEM, *Le Système du Monde. L'astronomie Latine au Moyen Age*, nelle éd. 1958, p. 32 sq.

- (9) JEAN SCOT ERIGENE, *De Divisione Naturae*, Liv. III, P.L. 122, col. 721 sq. D'origine irlandaise, comme Dicuil, Jean Scot est l'un des rares auteurs médiévaux à connaître le grec. C'est à lui que fut confié la traduction du Pseudo-Denys l'Aéropagite. Son œuvre majeure, le *Periphyseon* ou *De Divisione Naturae* composée vers 864-865 allait connaître une large audience au XII^e siècle à travers la *"Clavis Physicae"* d'HONORIUS AUGUSTODUNENSIS éd. P. LUCENTINI, Rome 1974. A propos de la taille du soleil, le *De Divisione...* et après lui la *Clavis...* reprennent la position modérée de Pline : "... ni les savants en matière de science profane, ni ceux qui ont exposé la science sacrée ne permettent de la rapporter avec certitude. En effet, Pline le Second dans l'Histoire Naturelle et Saint Basile dans l'hexaëmeron se refusent à toute définition de la grandeur du soleil" (éd. op. cit., p. 162).
- (10) GUILLAUME DE CONCHES, *Glosae super Platonem*, éd. E. JEAUNEAU, Paris, 1965, p. 71. GUILLAUME DE CONCHES, est l'un des "maîtres" les plus importants du début du XII^e siècle. Fervent platonicien, il est l'un de ceux qui avec Thierry de Chartres, autour de ce que l'on a appelé "l'école de Chartres" ont développé l'étude des arts Libéraux, et en particulier du Quadrivium : Arithmétique, Géométrie, Astronomie, Musique ; en s'appuyant sur le raisonnement. Outre les *"Glosae"*... Guillaume est l'auteur d'une *Philosophia Mundi*, P.L. 172, col. 39-102 qui fut l'un des manuels scolaires de l'époque. Sur le symbolisme des nombres voir : G. BEAUJOUAN, "Le Symbolisme des Nombres à l'Epoque Romane", *Cahiers de Civilisation Médiévale*, 4, 1961, pp. 159-169.
- (11) Y. LEFEVRE, *L'Elucidarium et les Lucidaires*, Paris, 1954, p. 157. L'Elucidarium, est une sorte d'encyclopédie théologique composée par l'auteur du *De Imagine Mundi*, au début du XII^e siècle (entre 1100 et 1108) qui connut, elle aussi, un immense succès.
- (12) La description et les dimensions du Sépulcre, qui manquent dans le manuscrit original du *Liber Floridus* sont données à partir d'un autre manuscrit conservé à la Bibliothèque de Leyde. Voir : L. DELISLE, "Notices sur les Manuscrits du Liber Floridus", *Notices et extraits des manuscrits de la Bibliothèque Nationale*, 38, 1906, p. 99.
- (13) R. KRAUTHEIMER, "Introduction to an 'Iconography of Mediaeval Architecture'", *Journal of the Warburg and Courtauld Institutes*, London, vol. V, 1942, p. 12.
- (14) K.J. KONANT, "Les Dimensions Systématiques et Symboliques à l'Eglise Abbatiale de Cluny", *Annales de l'Académie de Mâcon*, 14, 1960-1961, p. 2.
- (15) J. TAYLOR, *The Didascalicon of Hugh of Saint-Victor*, New York, 1961, Liv. II, ch. IX, p. 68. Le *Didascalicon* ou "De Studio Legendi" de HUGUES de SAINT-VICTOR (voir n° 1) est un manuel destiné à servir de guide pour les étudiants qui entreprennent l'étude des Arts Libéraux.
- (16) Ibid. Liv. II, ch. XIII, p. 70.
- (17) BAUDRI de BOURGUEIL éd. K. HILBERT, *Baldricus Burgulianus Carmina*, Heidelberg 1979, pp. 177-178, vers 1087-1120. Il s'agit d'une lettre en vers, sous forme d'éloge, écrite aux alentours de 1100 par Baudri abbé de Bourgueil à la comtesse Adèle de Blois ; voir : J.Y. TILLIET "La chambre de la Comtesse Adèle", *Romania*, 102, 1981, pp. 145-171.
- (18) ALAIN de LILLE, *Anticlaudianus*, Liv. III, ch. V, P.L. 210, col. 548 BC. ALAIN de LILLE, (1125-1202/1203) enseigne à Paris, Montpellier, avant d'entrer comme convers à Cîteaux à la fin de sa vie. Dans l'*Anticlaudianus*, de tous ses écrits le plus célèbre, il décrit les sept Arts Libéraux fabriquant un char qui doit élever la Raison vers le ciel.
- (19) CHRETIEN de TROYES, *Erec et Enide*, Traduit en Français moderne par R. LOUIS, Paris, 1982, pp. 177-178.
- (20) THIERRY de CHARTRES, chancelier de la cathédrale en 1141, est l'auteur d'un "Heptateuchon", vaste programme d'étude fondé sur les sept Arts Libéraux. Il est aussi l'un de ceux à avoir tenté une analyse "ad physicam" de la Genèse, faisant appel aux Mathématiques, à la Géométrie. Autour de lui, de Guillaume de Conches (voir n° 10)... se développe ce qu'il est convenu d'appeler la "Philosophia a Naturalis" fondée sur la connaissance de la Nature et du Monde, à partir du raisonnement, tandis que commence la première vague des traductions du grec et de l'arabe dans le domaine des sciences naturelles. Voir : M.D. CHENU, "L'homme et la Nature. Perspectives sur la Renaissance du XII^e siècle", *Archives d'Histoire Documentaire et Littéraire du Moyen Age*, 27, t.19, 1952, pp. 39-66 ; et T. GREGORY, "La Nouvelle Idée de nature et de Savoir Scientifique au XII^e siècle", *The Cultural context of Medieval Learning*, éd. J.E. Murdoch and E.D. Scylla, Dordrecht-Boston, 1975, pp. 193-218.
- (21) HUGUES de SAINT-VICTOR, *Practica Geometriae*, éd. R. BARON, *Osiris*, Bruges, 1956, vol. 12, pp. 176-224. Voir : R. BARON, "Introduction en Occident des notions de Géométrie Theorica et Practica" *Revue d'Histoire des Sciences*, Sept.-Déc. 1955, pp. 298-302.
- (22) ADELARD de BATH, *De eodem et diverso*, éd. H. WILLNER, Munster, 1903, pp 29 sq. ADELARD de BATH, est le premier à avoir donné une traduction intégrale d'Euclide à partir de la version arabe d'Al-Hajjaj ; Voir M. CLAGETT, "The Medieval Latin Translations from the Arabic of the Elements of Euclid with special emphasis on the versions of Adelard of Bath", *Isis*, XLIV, 1953, pp. 16-42.
- (23) HUGUES de SAINT-VICTOR, *De Ponderibus et Mensuris*, éd. R. BARON *Cultura Neolatina*, t.16, 1956, pp. 25-29.
- (24) HONORIUS AUGUSTODUNENSIS, *Clavis Physicae*, éd. P. LUCENTINI, Rome, 1974, pp. 160-161.
- (25) A propos des mesures courantes, voir les réflexions de P. LAVEDAN et J. HUGUENNEY, *l'Urbanisme au Moyen Age*, Genève, 1974, pp. 73-74. Il est question d'Esturons, de Cartonées, d'Emonées, de Coucades...
- (26) M. Th. d'ALVERNY "L'homme comme symbole, le Microcosme", *Settimane di Studio del Centro Italiano di Studi sull'alto Medioevo*, 23, 1976, pp. 123-183. HONORIUS AUGUSTODUNENSIS, *Elucidarium*, op.cit., pp. 371-372 et pp. 115-116 et *De Imagine Mundi* Liv. I, ch. 82, P.L. 172, col. 140 D et Liv. II, ch. 59, P.L. 172, col. 154 D.
- (27) J. VIELLARD, *Le Guide du Pèlerin de Saint-Jacques de Compostelle*, Mâcon, 1978, p. 87, p. 89, p. 93.

LA VIE DE L'ASSOCIATION

INFORMATIONS GENERALES

Colloque Guillaume Henri Dufour dans son Temps 1787-1987

La société d'histoire et d'archéologie de Genève a organisé au Palais de l'Athénée à Genève, à l'occasion du bicentenaire de la naissance du Général Dufour, un colloque qui a duré trois jours, les 10, 11, 12 septembre 1987, mais qui a été accompagné d'autres manifestations.

Le Général Dufour est connu des cartographes français comme étant le père de la carte à 1:100 000 qui porte son nom et qui est à peu près contemporaine de notre carte d'Etat-Major. Mais on ignore généralement que Dufour a été reçu à l'Ecole Polytechnique en 1807 et qu'il a servi la France comme officier du génie.

Aussi les responsables du colloque avaient-ils demandé à notre collègue Raymond d'Hollander d'effectuer dans le cadre de ce colloque une conférence ayant pour thème le rôle de la cartographie française sur Dufour.

Celui-ci entré 140^e au concours, sort 5^e de l'Ecole Polytechnique, où il reçoit une solide formation en topographie, lors de l'enseignement de cette discipline et de celui des fortifications.

Affecté à l'Ecole du génie de Metz, il y reste très peu de temps car il est envoyé sans délai à Corfou, où il séjourne quatre ans. Il y effectue un levé à 1 : 2000 de la forteresse en "courbes horizontales" et acquiert ainsi un bon sens du terrain.

Après Waterloo, il ne tient pas à servir les Bourbons et préfère rentrer à Genève, où s'ouvre pour lui une carrière incomparable, dont le colloque a mis en évidence les multiples facettes.

Ingénieur cantonal, il fait lever le cadastre et une carte à 1 : 12 500 ; il s'occupe d'urbanisme et est à l'origine du nouveau visage de Genève. Il développe la navigation à vapeur, introduit les ponts suspendus en Suisse, s'occupe du tracé des chemins de fer. En outre, il est chargé d'enseigner les mathématiques à l'Académie. En 1819, il entre au conseil représentatif et il crée l'Ecole Militaire de Thoune, où il sera l'instructeur du prince Louis Napoléon Bonaparte.

De 1832 à 1864, il dirige les travaux géodésiques, topographiques et cartographiques de la carte à 1 : 100 000 qui porte son nom. Tout en s'inspirant fortement de l'exemple français, connaissant à fond les trai-

tés de géodésie et de topographie du Colonel Puissant, il fait preuve d'originalité. Il accorde une importance primordiale au figuré du terrain en hachures, pour lequel il adopte l'éclairage oblique, de sorte que sa carte est plus expressive que notre carte d'Etat-Major surtout en montagne.

Mais le plus grand titre de gloire de Dufour fut l'affaire du Sonderbund, alliance séparée des cantons catholiques suisses, contraire au pacte fédéral. La diète fédérale ayant dissous en 1847 le Sonderbund, celui-ci organisa sa résistance. Le général Dufour parvint à mettre l'armée du Sonderbund en déroute, en déployant un grand talent militaire et avec des pertes minimales en vies humaines.

Après l'épisode du Sonderbund Dufour fut appelé trois fois encore à prendre la tête de l'armée fédérale.

En dehors du colloque furent prononcées trois conférences publiques : deux à Genève, l'une à St-Maurice rassemblant plusieurs centaines de personnes. Cinq expositions sur Dufour furent organisées : trois à Genève, une à Carouge, une à St-Maurice.

Enfin, il y eut deux cérémonies officielles :

- l'une le 4 septembre, à Genève avec défilé militaire ;
- l'autre le 13 septembre, à St-Maurice avec lever des couleurs et allocutions.

Le bulletin du Comité français de cartographie publiera le texte de la conférence de Raymond d'Hollander.

(XYZ) (R.H.)

Nomination

Nous avons le plaisir de vous annoncer que René CHALLINE membre de l'AFT, Ingénieur en Chef des P et C, Ingénieur ETP et Professeur à l'ESTP et au CNAM vient d'être affecté en tant que chargé de mission au Conseil Général des Ponts et Chaussées.

Rappelons que parmi ses activités dans notre association, il a entre autres assuré la présidence du colloque de Versailles (23-26 novembre 1982), XYZ N° 13, et participe à la commission de l'enseignement de l'AFT.

COLLOQUES-CONGRES-MANIFESTATIONS

COMPTE RENDU DU 3^e COLLOQUE NATIONAL SUR LA LOCALISATION EN MER

qui s'est tenu à l'Institut Français du Pétrole
(Rueil-Malmaison), du 28 septembre au 1^{er} octobre 1987

Du 28 septembre au 1^{er} octobre 1987 le 3^e colloque national consacré à la localisation en mer a rassemblé un certain nom-

bre de spécialistes ou d'utilisateurs avertis des différents procédés de localisation, et en a examiné les progrès. Il était organisé par le groupe "Localisation en mer" qui rassemble les représentants d'une dizaine d'organismes nationaux concernés par ce problème, et avait lieu à l'Institut Français du Pétrole, à Rueil-Malmaison.

Parmi les 37 communications présentées au colloque, 13 con-

cernaient la localisation par satellites (dont 8 pour le seul système GPS), 8 la radiolocalisation à base terrestre, 8 la localisation acoustique. Les autres étaient plus diverses. Les questions qui ont suivi les exposés ont ouvert de larges échanges de vues entre les participants. L'importance de tels échanges entre usagers et constructeurs a été soulignée par ces derniers. Ceci justifie le besoin de colloques de ce type et il a été indiqué à plusieurs reprises qu'il ne faudrait pas attendre encore huit ans pour renouveler celui-ci.

L'ensemble du programme prévu a été rempli, à l'exception du thème "Débat sur un projet de station GPS de référence et de surveillance en Europe", auquel il a fallu renoncer faute de temps. Une autre occasion de le faire apparaîtra probablement en 1988.

Parmi les thèmes ayant suscité des discussions, on peut noter les suivants :

- Des systèmes géodésiques nouveaux de grande qualité sont créés par différentes autorités. Il faudrait éviter qu'ils soient trop nombreux, et il faudrait que leur mise en service s'accompagne du retrait de systèmes géodésiques plus anciens n'ayant plus les qualités nécessaires pour servir aujourd'hui de référence. Les usagers attendent impatiemment que les données définitives permettant de généraliser l'emploi du système géodésique mondial WGS-84 soient diffusées par les concepteurs du système. Ils souhaitent également que des mesures soient prises pour faire progressivement disparaître l'emploi de systèmes géodésiques locaux ou nationaux à distorsions notables, tel que le NGF en France.

- Le système de localisation par satellite GPS a constitué un thème important du colloque, bien qu'il ne fonctionne encore que de façon expérimentale et partielle. Tel qu'il fonctionne actuellement il permet cependant — comme l'a montré M. Allenou — une localisation de 30 mètres près pendant quelques 12 heures par jour.

- En ce qui concerne les caractéristiques nécessaires à un récepteur GPS pour assurer une localisation précise à un navire ou une vedette hydrographique on a été frappé de la convergence des idées exprimées dans la communication de G. Lachapelle (du Canada) avec les choix retenus en France par la société Sercel. Pour assurer une localisation en mer de précision hydrographique — soit mieux que 5 mètres pris en temps réel et avec une probabilité de 95 % sur des bâtiments de levé ou sur des vedettes hydrographiques de 10 m — il faut que le récepteur permette les mesures suivantes : mesure de façon continue de la pseudo-distance et de la phase du signal transmis, et ceci sur au moins cinq satellites. Le récepteur doit donc posséder au moins cinq canaux et il doit également recevoir les mesures de distance d'une station fixe de référence, qui peut être distante de quelques centaines de kilomètres. En opérant dans les conditions ci-dessus il n'y a pas d'inconvénient à ne disposer que d'une seule des deux fréquences émises par le satellite. Les récepteurs GPS monofréquence à poursuite de phase employés en mode différentiel paraissent appelés à répondre à des besoins variés, à terre comme en mer, dans les années à venir.

- Au point fixe M. Willis a montré que GPS permettait d'assurer une précision meilleure que un millionième sur des distances de 50 km avec un appareil monofréquence et en deux heures de mesure environ. Ceci ne peut manquer d'avoir de larges applications en géodésie, nivellement ou géodynamique. La précision de mesure est certainement appelée à des améliorations notables dans les années à venir.

- Le système GPS est appelé à prendre une large place, et même les exposés abordant d'autres moyens de localisation les ont souvent considéré sous l'angle de l'hybridation avec GPS. Il apparaît cependant clairement qu'aucun système de localisation ne peut répondre seul à tous les besoins. En ce qui concerne la seule localisation par satellites, les systèmes Argos ou Sarsat ne peuvent être remplacés par GPS, et Géostar-Locstar pourrait aussi se développer parallèlement.

- En matière de localisation à base terrestre on est frappé en comparant les communications du colloque de 1987 avec celles des colloques précédents (1971 et 1979) par les changements suivants : accroissement de la précision de la fiabilité et de la commodité des appareils, part importante prise par les microprocesseurs et les logiciels à l'intérieur de chacun d'eux.

- Des techniques nouvelles font leur apparition, qui n'utilisent pas toutes des satellites. C'est ainsi que le système Radarfir pour la localisation portuaire (communication de M. Abadie), ou la détermination topographique rapide par hélicoptère localisé au Syledis (exposé de M. Rousset) ont suscité beaucoup d'intérêt.

- Plusieurs exposés consacrés à la localisation acoustique sous-marine ont également témoigné d'avancées techniques intéressantes. Les méthodes de traitement du signal paraissent pouvoir augmenter sensiblement les performances obtenues dans ce domaine. Dès maintenant on a montré que la portée des systèmes de localisation acoustique à base longue pouvait être doublée. Un progrès analogue peut être espéré dans la localisation à base courte, comme l'a montré Mlle Bouhier, et il faudrait que l'étude en soit poursuivie.

- Les actes du colloque seront publiés courant 1988 et vendus par EPSHOM, BP 426, 29275 Brest Cedex. Tél. : 98.03.09.17.

- En vente également à l'EPSHOM les documents nautiques du SHON (cartes marines, ouvrages généraux).

B. SCHRUMPF

GESTION URBAINE ET DEVELOPPEMENT INSTITUT DES SCIENCES ET DES TECHNIQUES DE L'EQUIPEMENT ET DE L'ENVIRONNEMENT POUR LE DEVELOPPEMENT COLLOQUE INTERNATIONAL

20-22 SEPTEMBRE 1988 - LYON - FRANCE
Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat

Objectifs du colloque : L'accroissement accéléré de la population urbaine des pays en développement ainsi que l'évolution de ses modes de vie pose aux responsables des villes de ces pays de difficiles problèmes d'organisation des fonctions nécessaires à la vie de la cité.

La gestion efficace de ces fonctions au travers de l'ensemble des services urbains constitue l'une des conditions du développement économique. L'amélioration de la productivité de ces services est, de ce fait, recherchée.

Dans ce contexte d'évolution rapide, le colloque a pour ambition de faire progresser la réflexion en matière de gestion urbaine. Dans ce but, il se propose de réunir les responsables du fonctionnement des villes et ceux qui leur apportent leur concours et d'organiser entre eux de larges échanges d'expériences et une discussion approfondie prenant en compte les diverses composantes de la gestion urbaine.

Renseignements : ISTED - 38, rue Liancourt - F 75014 Paris - France. Tél. : (33-1) 43.35.56.67 - Télex : 200789 F ISTED.

MINISTERE DE L'ENERGIE, DES MINES ET DES RESSOURCES DU CANADA Centre Cartographique Canadien de Sherbrooke SYMPOSIUM INTERNATIONAL SUR LES APPLICATIONS TOPOGRAPHIQUES DES DONNEES SPOT

co-parrainé par l'Institut Géographique National de France
13 et 14 octobre 1988 - Sherbrooke (Québec), Canada

- Traitement géométrique des données.
- Systèmes de traitement géométrique des images.
- Résultats des expériences communes franco-canadiennes (contenu des images, précision planimétrique et altimétrique, triangulation spatiale).
- Applications en cartographie topographique.

Pour plus d'information s'adresser au : Centre cartographique canadien de Sherbrooke - 2144, rue King ouest, suite 200 - Sherbrooke (Québec) - J1J 2E8, Canada. Tél. : 819-565-4992.

FOIRE INTERNATIONALE DES MUNICIPALITES du 20 au 29 mai 1988 à BRAGA - Portugal

Cycle de conférences sur le thème :

"Informatisation municipale et systèmes d'information géographique", les 23, 24 et 25 mai 1988 par des spécialistes d'Europe et d'Amérique.

Réf. : M. Alberto AMORIM, avenue Dr-Francisco Pires-Gonçalves-Ponte S. Joao - Apartado 60.
PT 4701 - BRAGA CODEX - Portugal.



FACADE DE ST^E GENEVIEVE

*Ce Monument qui honore à la fois l'Architecture et la Nation, a été construit sur les Degrés de
Jacques Germain Soufflot ; la construction en fut commencée en 1767.
A Paris chez Jean, Rue d'Orléans de Poissy, N° 10.*

RENCONTRE AFT
JEUDI 17 ET VENDREDI 18 MARS 1988

"UTILISATION ET EVOLUTION DES TECHNIQUES SPATIALES DE POSITIONNEMENT"

Centre de Conférences PANTHEON
16, rue de l'Estrapade, 75005 PARIS

- 4 conférences par MM. BOUCHER, WILLIS (IGN), LE GOUIC (SHOM), LE GORGEU (SPOT), DECHEZELLES (IGA)
- 200 m² d'exposition.

Programme détaillé dans de prochain FIL

21-22 octobre 1988 CANNES (espace MIRAMAR)

15^e COLLOQUE AFT

**L'INFORMATION GEOGRAPHIQUE
DANS L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE**
(Topographie, cartographie et télédétection)

ACTUALITES A.F.T.

BIBLIOGRAPHIE



Compagnon de Flaubert, ami de Théophile Gautier, futur membre de l'Institut et collaborateur de la Revue des Deux Mondes, Maxime du Camp est un personnage, aujourd'hui méconnu, de la scène littéraire entre 1848 et 1894. Journaliste, publiciste, comme on dit alors, cet "ambitieux" a plusieurs cordes à son arc et il en joue. A vingt-sept ans, il s'invente une carrière d'archéologue et de photographe. Un amateur ? Oui, sans doute, car il hésite entre plusieurs talents. De son voyage en Orient avec Flaubert — ils visitent ensemble l'Égypte, la Palestine, la Syrie et la Grèce avant de rompre en 1851 —, il rapporte une foule de souvenirs et d'anecdotes pleins de saveur qu'il relate dans ses Souvenirs Littéraires et dans ce récit, *Le Nil*, mais aussi de nombreuses photographies personnelles demeurées jusqu'ici presque inconnues du public.

Pour la première fois, ces documents sont réunis dans un ouvrage unique : le lecteur moderne va pouvoir découvrir en même temps une chronique de voyage tour à tour incisive et ingénue, toujours émouvante, et les somptueuses photographies des statues et des lieux qu'il décrit.

A travers ces vues ruinées de Thèbes, Abou Simbel ou Karnak, ce que "l'œil" de Maxime du Camp refléchit, ce sont un peu les fascinations de son temps et les nostalgies du nôtre.

Préfacé par Jean Leclant, professeur au Collège de France (égyptologie), présenté par Daniel Oster et Michel Dewachter, ce livre raffiné s'adresse aux passionnés d'archéologie et de photographie et, au-delà, aux amateurs de littérature, de voyage, et aux fans de ce cocktail d'énigme et de romantisme qu'a suscité l'Égypte ancienne.

Illustration de couverture : Abou Simbel, premier colosse de Ramsès II au nord de l'entrée (Calotype de Maxime du Camp).

L'INSTITUT ET L'EGYPTE

Si deux récentes expositions organisées par l'Institut à l'initiative du Chancelier Edouard Bonnefous, au Conservatoire National des Arts et Métiers (1983) puis au Musée Jacquemart-André (1986), permirent déjà d'attirer l'attention générale sur l'importance de l'Égypte ancienne dans les musées et bibliothèques relevant de l'Institut de France, il aura fallu attendre cependant la fin de la présente année pour mesurer réellement la richesse et la diversité de ce fonds particulier.

En effet, l'étude du précieux matériel légué à la Bibliothèque de l'Institut par Maxime du Camp, et relatif à son voyage en Orient (1849-1851) en compagnie de Flaubert, vient tout d'abord de conduire à la publication par les Editions Sand-Conti d'un bel album illustré de 70 calotypes de Maxime du Camp, 20 documents d'archives et 15 aquarelles de Prisse d'Avennes : *Un voyageur en Égypte vers 1850* - "Le Nil" de Maxime du Camp. Tout en montrant par le menu, pour la première fois, ce que fut réellement la mission officielle confiée aux deux écrivains, cet ouvrage dû à Michel Dewachter et Daniel Oster, préfacé par le professeur Jean Leclant, Secrétaire perpétuel de l'Académie des inscriptions et belles-lettres, contient aussi de nombreux documents inédits.

Il projette donc un nouvel éclairage sur le curieux tandem Flaubert-Du Camp et permet de préciser, enfin, la véritable personnalité de Maxime du Camp et la manière dont il s'est acquitté de sa mission d'archéologue et de photographe en Égypte.

Par ailleurs, l'exposition "Les collections Égyptiennes", organisée également à la demande du Chancelier Edouard Bonnefous et que les Parisiens ont pu voir du 10 décembre dernier au 7 janvier 1988 à la Fondation Dosne-Thiers - 27, place Saint-Georges Paris 9^e, a donné à tous une juste idée du "fonds Égyptien" confié à la garde de l'Institut. La sélection retenue ne porta pas uniquement sur les antiquités et l'Égyptologie mais concerne aussi les trois événements majeurs ayant favorisés les liens et l'intérêt réciproque entre la vallée du Nil et la France : l'expédition d'Égypte, la mise en valeur par les Saints-Simoniens du pays gouverné par Méhémet-Ali et l'extraordinaire aventure du percement de l'isthme de Suez. Ainsi ce sont donc, à côté des deux collections d'antiques léguées à l'Institut en 1912 par Madame Edouard André, et habituellement conservées au château de Chaalis et au musée Jacquemart-André, plusieurs pièces, livres, manuscrits, lettres, estampes et photographies anciennes qui seront réunis dans les élégants salons de l'ancien hôtel d'Adolphe Thiers.

Une plaquette abondamment illustrée, rédigée par Michel Dewachter, préfacée par le professeur Jean Leclant et publiée aussi par les Editions Sand-Conti, a été consacrée aux 45 pièces les plus rares de l'ensemble exposé, plus de 200 numéros, et qui, outre les deux musées déjà cités, ont été fournies par la bibliothèque de l'Institut, le musée Frédéric Masson et la bibliothèque Thiers. Ce choix couvre un large éventail et réunit, notamment, à côté d'une riche série de vases en pierre dure, remontant à l'époque thinite (début du 3^e millénaire avant notre ère) un bas-relief de la V^e dynastie (2480 - 2350 avant J.-C.) et divers échantillons de la meilleure production des sculpteurs de l'époque saïte (663-525) ou de celle des bronziers et faïenciers ayant exercé autrefois dans la vallée du Nil.

Il n'est pas banal non plus, de faire cohabiter ainsi le temps d'une exposition, l'exceptionnelle tête d'une statue du pharaon Psamétique II (594-588) avec le portrait de Bonaparte exécuté par Dutertre à bord de "L'Orient" se dirigeant vers l'Égypte, ou cette féroce caricature de l'Impératrice Eugénie participant aux fêtes de l'inauguration du canal de Suez.

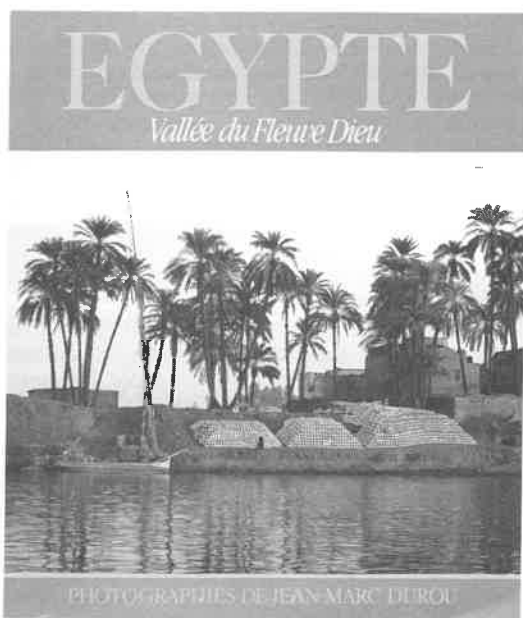
Ce voisinage forcé ne montre-t-il pas mieux que bien des dissertations savantes, la force ou la fragilité des empires et les rêves les plus fous que l'Égypte ne cessa jamais de susciter ?

EGYPTE, VALLEE DU FLEUVE DIEU

Editions AGEPI VILO PARIS

Ce nouveau livre sur l'Égypte n'est ni un guide, ni un tracé succinct de son histoire. Son but est simple : dégager, par l'image et par le texte, l'Égypte profonde.

Une première partie sera consacrée au Nil, qui a fait l'Égypte,



à travers l'espace et le temps, l'assagissement de son cours par l'homme et les conséquences, bonnes ou néfastes, du Haut Barage d'Assouan.

La seconde concernera la vie dans les campagnes et les agglomérations rurales, sous l'angle de la permanence et de l'évolution rapide des dernières décades.

La troisième décrira la vie dans les grandes métropoles, symbolisée par celle du Caire, la plus peuplée des villes d'Afrique qui doit résoudre, tant bien que mal, les problèmes que pose une démographie galopante.

Le Nil, le fleuve le plus long du monde —, il ne compte pas moins de 6 500 km dont 1 200 en Egypte jusqu'à son embouchure — a été pendant des millénaires, considéré comme le plus mystérieux, nul n'ayant réussi à percer l'énigme de ses sources ; aussi exerçait-il une incroyable fascination sur les imaginations. Il faudra attendre le milieu du XIX^e siècle pour trouver la clef du "plus grand secret géographique après la découverte de l'Amérique".

Textes de Cérés Wissa Wassef. Née au Caire dans une famille qui s'est illustrée par ses contributions politiques et artistiques à l'évolution de l'Egypte moderne, Cérés Wissa Wassef appartient aussi à la France par sa formation.

Auteur d'une thèse appréciée sur les pratiques rituelles et alimentaires des Coptes, elle est aujourd'hui connue par ses travaux effectués dans le cadre du Centre d'Etudes et de Recherches Internationales (de la Faculté des Sciences Politiques).

Par ses nombreuses participations à des revues scientifiques et à des ouvrages collectifs, elle est considérée comme un des meilleurs spécialistes des questions égyptiennes.

Photographies de Jean-Marc Durou. Ancien guide saharien qui est avant tout un amoureux de la nature. Passionné par les déserts où il a vécu pendant dix ans, il découvre, il y a quelques années, l'Egypte.

Ebloui par l'ambiance orientaliste qui y règne, il décide d'en rapporter un reportage dont le seul but n'est pas de retranscrire l'histoire par des images de monuments, mais aussi de faire sentir la vie d'un peuple attaché à la tradition de la terre et dont la vie ne se dissocie pas de son fleuve le Nil.

Plus qu'un simple constat visuel, ces images nous font vivre les lumières intimistes dont sont baignés chaque jour les fellahs, paysans du désert.

L'ensemble des prises de vues n'a jamais nécessité de filtre et a toujours été réalisé en lumière naturelle. Toutes les vues ont été prises avec du Kodachrome 25 et 64 Iso, film dont les qualités techniques s'adaptent parfaitement aux lumières intenses et aux très hautes températures.

IL ETAIT UNE FOIS LA MEDITERRANEE...

Pour la première fois, sous la forme d'une fresque en 15 tableaux, est présentée l'évolution géologique du domaine Méditerranéen.

Cette véritable bande dessinée conte l'origine de la Méditerranée depuis 200 millions d'années jusqu'à l'époque actuelle.

Des espaces océaniques ont disparu, d'autres se sont créés, durant cette période, par suite du mouvement des plaques Europe et Afrique. En effet, les vieux océans (la Thétys et la Mésogée) ont été remplacés par les montagnes alpines au sens large (Alpes, Apennins, chaînes d'Afrique du Nord...).

La Méditerranée est plus récente encore, et s'est ouverte par dérive des blocs continentaux dont la Corse et la Sardaigne. Aujourd'hui le mouvement de l'Afrique sous l'Europe (subduction) se poursuit sous la Calabre qui dérive vers le Sud-Est, tandis qu'un nouvel espace océanique se crée en mer Tyrrhénienne.

Cette bande dessinée en couleur présente 12 étapes de l'histoire de la Méditerranée avec légendes, texte explicatif et introduction à la tectonique des plaques.

Cet ouvrage est à usage pédagogique mais il concerne aussi le grand public. Il utilise un vocabulaire simple, accessible à tous.

Cette publication résulte d'une collaboration entre les équipes du Centre National de la Recherche Scientifique, de l'Université Pierre et Marie Curie (Paris VI^e - Laboratoire de Géodynamique sous-marine de Villefranche-sur-Mer) et des Centres Régionaux de Documentation Pédagogique de la Corse et de Nice.

ALEX DE LESSEPS

MOI, FERDINAND DE LESSEPS

Traduit de l'anglais par Jacqueline Huet

Olivier ORBAN

Après une enfance marquée par l'épopée napoléonienne et un détour par la diplomatie, il se consacre à un rêve millénaire : le percement de l'isthme de Suez. Deux mondes se rencontrent, l'Orient endormi et l'Occident conquérant, et cette rencontre est symbolisée par l'amitié de deux hommes, Lesseps et Saïd, l'obèse pacha ouvert au progrès.

MICHELIN PRESENTE LA CARTE OFFICIELLE PARIS - ALGER - DAKAR 1988

Michelin est présent de longue date au Paris-Dakar à travers sa technologie du pneumatique. Il l'est également à travers "le" document de référence sur le terrain, que constitue sa carte routière n° 953 "Afrique Nord et Ouest", à l'échelle 1/4 000 000 (1 cm pour 40 km).

Tous les "Transsahariens" le savent bien, avec elle, plus de problème pour franchir les ergs, les hammadas et autres tassilis...

Pour marquer le dixième anniversaire du Rallye, TSO (Thierry Sabine Organisation) et Michelin ont souhaité que l'itinéraire 1988 soit associé à ce document.

D'où une carte déjà familière aux concurrents et qui les met en confiance...

Un support précis pour suivre de bout en bout les péripéties de la course...

Une nouvelle forme d'assistance technique Michelin, à côté de celle du pneumatique...

Trois raisons essentielles à ce choix :

1) Grâce à sa conception routière, elle précise clairement la nature et le revêtement des voies de liaison, la présence de jalons (incluant les balises solaires au sud de Reggane), la viabilité permanente ou saisonnière, les obstacles (cols, passages à gué, pistes interdites ou interrompues, postes de douane...) ;

2) Les risques propres à ces régions y sont traités avec la traditionnelle précision Michelin : parcours difficiles ou dangereux, conditions climatiques, périodes d'impraticabilité (qui se doute que d'immenses régions du Sud-Sahara sont inondables en certaines saisons ?), dépôts de carburant, présence de points d'eau (y compris sa qualité gustative et la profondeur du puits !) ... Sans doute l'aventure y perd-elle un peu, mais c'est au profit de la sécurité.

3) Enfin et surtout, cette carte fait l'objet d'une mise à jour rigoureuse et fréquente dans tout le contenu de son dessin et de son information, tant il est vrai que c'est d'abord l'actualité qui fait la valeur d'une carte, surtout lorsqu'il s'agit de lui confier sa vie !

LE GRAND DEFI DES POLES

par Bertrand IMBERT

Découvertes Gallimard/Aventures

Au premier coup d'œil le petit ouvrage "Le grand défi des pôles", de Bertrand Imbert, publié dans la série "aventures" de la collection "découvertes Gallimard", attire l'attention par sa présentation particulièrement soignée. Les très nombreuses illustrations, dont beaucoup sont en couleurs, la mise en page élégante, la typographie très claire, ne sont que l'habillage d'un authentique petit chef-d'œuvre par la richesse de l'information, la clarté du style, la logique du plan. Présenter sous un volume aussi restreint un sujet aussi vaste et complexe et de façon aussi complète était aussi un "grand défi" et B. Imbert a pleinement gagné son pari. Il retrace brièvement mais avec précision la grande fresque de la conquête des pôles en situant chaque tentative dans son contexte historique, scientifique et humain. Aucun sujet n'est aussi riche d'imaginaire et de fantastique, aussi éloquent sur les limites du courage des hommes, aussi instructif sur les problèmes géoscientifiques essentiels pour notre vie quotidienne, que l'étude des régions polaires. Encore fallait-il trouver un fil conducteur, celui de l'homme qui au cours de son histoire cherche à la fois à se comprendre et à comprendre l'univers. Malgré les nombreuses anecdotes qui émaillent son récit, M. Imbert a judicieusement terminé son livre par une partie consacrée aux "témoignages et documents", abordant les sujets les plus divers tels que des témoignages émouvants des explorateurs, des aperçus ethnographiques, littéraires, zoologiques, juridiques, etc. On attendait à l'issue d'un travail aussi bien fait une bibliographie et un index ; ils y figurent et donnent à l'ouvrage le sérieux d'une référence facile à consulter. Marin, explorateur et ingénieur, Bertrand Imbert n'a jamais cessé de s'intéresser aux régions polaires ; son message aussi passionnant qu'utile ne nous a pas surpris.

J. Bourgoïn

"TERRES EXTREMES"

*La grande aventure des Pôles, par Nicolas Skrotzsky.
Éditeur Denoel — 228 pages, 128 F.*

Nicolas Skrotzsky, dans son ouvrage "Terres extrêmes", nous offre un panorama complet de l'aventure historique et scientifique de la conquête des pôles. Il est difficile d'aborder un tel sujet sans faire la partie belle à l'histoire de cette conquête, de l'antiquité à nos jours. La passionnante aventure polaire, dans laquelle l'homme cherche autant à découvrir ses propres limites que celles d'un monde inconnu soumis aux conditions extrêmes, est présentée avec la rigueur et le détail nécessaires pour faire revivre cette épopée majeure de l'histoire de l'humanité. L'auteur a su retrouver le fil conducteur dans une présentation partagée entre les deux hémisphères et fondée sur la logique géopolitique et scientifique propre au sujet traité. Après cette majestueuse entrée en matière, qui occupe le tiers de l'ouvrage, les grands thèmes concernant l'espace arctique et antarctique font l'objet de six chapitres consistants, basés sur une information vérifiée et bien à jour. Il faut souligner le mérite de l'auteur qui, en abordant un éventail très ouvert de sujets difficiles et souvent nouveaux, n'a pas hésité à faire contrôler son manuscrit par les meilleurs spécialistes français. Soit dit en passant aussi, — et l'auteur de la préface, Georges Laclavère, ancien directeur de l'IGN et président du Comité National Français des Recherches Antarctiques, n'y est sans doute pas étranger — l'apport français à la recherche polaire est soigneusement mis en valeur, sans emphase et avec rigueur.

Nicolas Skrotzsky, ethnologue de formation, rompu au journalisme scientifique, se livre à l'exercice délicat de

vulgarisation scientifique de bon niveau. Il s'agit en fait d'une forme nouvelle d'humanisme centré sur deux zones de notre planète parmi les plus riches en rebondissements scientifiques exceptionnels concernant notre lointain passé et les problèmes du futur. Les sujets abordés, tels que les paléo climats, les échanges de chaleur entre l'atmosphère et la glace, le magnétosphère, l'océanographie polaire, ont fait l'objet d'articles dans les grandes revues scientifiques de vulgarisation, mais se trouvent rarement rassemblés dans des ouvrages modernes, tout au moins en France. Les deux derniers chapitres, consacrés à la vie animale sous toutes ses formes et aux ethnies arctiques, sont denses en informations précieuses sur des problèmes souvent méconnus. L'ouvrage est complété par une annexe prospective sur l'antarctique français, une bibliographie sommaire et des index sur les noms géographiques et de personnes, qui sont les bienvenus. L'ouvrage est à recommander à un vaste public curieux de la prestigieuse épopée de la conquête des pôles ou simplement épris des dernières avancées spectaculaires des géosciences, ou encore peu familier de la vie des hommes et des bêtes dans les régions polaires.

J. BOURGOIN

"OCEANS DES HOMMES"

*par François BELLEC, édité par Ouest-France Université
Avril 1987 — Prix : 125 F*

Il existe peu d'ouvrages sur l'histoire de l'architecture navale, les "grandes découvertes", le développement des sciences nautiques, mais nous n'en connaissons pas qui fassent la synthèse de ces thèmes dans l'espace et dans le temps. Le Commandant François Bellec comble cette lacune avec un rare bonheur dans son ouvrage "Océans des hommes", dont le titre convient si bien à son propos. Les rapports des océans et des hommes sont si complexes et nombreux qu'il est dangereux d'isoler les grands thèmes de leur contexte. L'histoire de la cartographie marine, par exemple, risque de nous induire en erreur dans l'étude de l'importance relative de l'avancement des sciences nautiques et de la pulsion quasi-génétique de certains peuples à affronter la haute mer. Mais l'explication globale des rapports de l'homme avec l'océan relève des talents et compétences variés de l'historien, du marin, de l'ingénieur, du sociologue et de l'économiste. C'est précisément ce à quoi excelle l'auteur dans un style brillant qui lui est propre. Parmi les innombrables faits historiques rappelés par l'auteur et les réflexions les accompagnant, certains ont retenu particulièrement notre attention :

— la grandeur et la décadence des messageries vénitiennes qui, sans aucun esprit d'aventure, contrôlèrent le trafic médiéval en Méditerranée et jusqu'en Mer du Nord et drainèrent à leur profit les richesses d'Orient grâce à un réseau de comptoirs aux terminaux du trafic caravanier ;

— la rude tradition maritime septentrionale, adaptée à un environnement sévère, qui fit des Vikings les premiers navigateurs de haute mer occidentaux avant le 15^e siècle et les découvreurs du Nouveau monde sur des embarcations non pontées. Les Normands apportèrent la preuve que le sens marin et la volonté de puissance purent compenser des connaissances techniques et une économie non sophistiquées ;

— l'originalité de cette communauté économique très dynamique que fut la Hanse à partir du 13^e siècle, qui naviguait à la sonde et non au compas, inventa le gouvernail axial et mit au point les "Koggs", navires de charge nécessitant le développement d'infrastructures portuaires en Europe du Nord ;

— l'invention de la "Volta", ce bord tiré vers le grand

large à la recherche des vents favorables dont le promoteur fut le Portugais Ayres Tinaco, en 1446, et qui fut une étape déterminante dans la découverte maritime du monde ;

— le contournement de l'Afrique en 1498 par Vasco de Gama, — éloquente démonstration de l'intelligence, du courage, de l'opiniâtreté et de l'esprit d'entreprise des Portugais —, ouvrant trois siècles d'aventures économiques et maritimes en mer des Indes avant le renoncement de l'Etat portugais à défendre un empire chèrement acquis. L'utilisation de la boussole et la connaissance de la détermination de la latitude constituent le bagage scientifique modeste qui avait ouvert la voie tandis que le récit, en 1298, des aventures terrestres de Marco Polo sur les pistes poussiéreuses des routes de la soie avait stimulé l'imagination et l'initiative d'Henri le Navigateur ;

— la relève des Portugais par les Hollandais, à la fin du 16^e siècle dans l'océan Indien et en Insulinde, qui apportent en haute mer les préoccupations d'hommes d'affaires et ouvrent l'ère des échanges transocéaniques mondiaux des temps modernes ;

— le rôle de premier plan des Arabes, héritiers des Grecs (traduction arabe de la "Géographie" de Ptolémée en 847), au contact quotidien de l'Occident et de l'Orient, maîtres du trafic dans l'Océan Indien dès le 8^e siècle. Navigateurs instinctifs (adeptes de la navigation à latitude constante) faisant reposer l'art nautique sur la double base du "bon sens et de l'expérience" ;

— l'importance de la redécouverte de la "Géographie" de Ptolémée, avec un continent asiatique étiré exagérément vers l'Est sur un globe trop petit, et qui servit de modèle aux occidentaux au 15^e siècle ;

— la figure de proue de Christophe Colomb, symbole du chef d'expédition en haute mer, du navigateur déterminé ayant assimilé toute la science nautique de son temps ;

— la maîtrise instinctive et atavique de la mer chez les Polynésiens qui ont des méthodes très originales de navigation.

"Océans des hommes" est un ouvrage passionnant pour tous ceux qui cherchent à comprendre quelles sont, sous toutes les formes, les relations que l'homme entretient depuis l'aube des temps historiques avec son environnement maritime. Il éclaire un aspect de l'histoire de l'humanité capital pour l'évolution des civilisations sur la longue durée. En raison même de la qualité de l'ouvrage nous regrettons l'absence de documents de référence en annexes, qui figureraient avantageusement dans la prochaine édition : une chronologie des événements évoqués dans l'ouvrage, un index des noms propres des personnages et lieux cités, un petit atlas donnant la situation géographique des lieux cités (anciens et nouveaux toponymes).

Jean BOURGOIN

LE CALCUL DU GEOMETRE

par D. VILLESUZANNE - 320 pages - 160 F

(Edition EYROLLES)

Le géomètre qu'il soit chef d'entreprise, étudiant, en formation professionnelle ou employé dans un cabinet privé, le génie civil ou le secteur public... doit nécessairement connaître les bases du calcul topométrique.

Il existe maintenant toute une gamme de calculatrices ou de micro-ordinateurs. Mais encore faut-il savoir quels sont les schémas de calculs à adopter, les formules à employer ou à programmer, les données à saisir et les résultats à obtenir.

C'est dans cette optique que ce manuel a été réalisé.

De nombreux exercices illustrent la plupart des chapitres. On rencontre, traités avec simplicité et accompagnés de leurs programmes, des calculs de compensation par les moindres car-

rés adaptés à la polygonation, la triangulation, la trilatération et l'insertion. D'autres exemples sont proposés sur la transformation des coordonnées, les raccordements progressifs, les évaluations et divisions de surfaces, le redressement des limites, etc.

Par ailleurs, dans le but de faciliter la recherche des nouvelles tolérances applicables aux levés à grande échelle, une annexe résume celles relatives aux canevas d'ensemble et polygonaux (arrêté interministériel du 21 janvier 1980).

GEOCHRONIQUE N° 23, AOUT 1987

Maison de la Géologie, 77, rue Claude-Bernard,
75005 Paris

Géodynamique actuelle en France : une illustration de l'apport des comparaisons de nivellements à l'étude des déformations actuelles, par Jackie Fourniguet (BRGM Département Géologie, BP 6009, 45060 Orléans Cedex).

L'exploitation de deux séries de mesures espacées en moyenne de 80 ans, sur le réseau de nivellement de la partie Nord-Est de la France permet de mettre en évidence des mouvements verticaux actuels notables. La méthode est applicable à n'importe quel autre réseau et révèle également l'activité de structures connues ainsi que l'existence de "discontinuités" ne correspondant pas simplement à des failles identifiées.

Fourniguet J. (1987). — Géodynamique actuelle dans le Nord et le Nord-Est de la France. **Mém. BRGM** n° 127, 173 p., 34 fig. dont 10 h.-t., 16 tabl., 9 pl. h.-t., 10 annexes. N° ISBN 2-7159-0189-5.

Compléter votre information sur ce sujet en lisant l'article de **MM. Levallois et Maillard** (IGN) dans le Bulletin Géodésique n° 105 du 1^{er} septembre 1972 de l'association internationale de géodésie.

DEMANDES D'EMPLOIS

Ingénieur géomètre ESGT 83, 5 ans d'expérience cabinet privé, étranger, Centre Européen de Recherche Nucléaire (section topométrie souterraine). Etude toutes propositions France/Etranger.
M. Poussard, 40, ch. de la Planche-Brûlée, 01210 Ferney-Voltaire.

OFFRES D'EMPLOIS

Cherche collaborateur topographe pour saisie, calcul, report, étude et conception informatique sur Hewlett Packard 9000 et prologiciel
Ascodes tous modules : pour levé de plan topographique et archéologique.

Mission en Guyane : formation assurée sur place, débutant accepté, approche informatique souhaitée.

Envoyer CV : atelier de DAO, 22, rue du Moulin, 51170 Serzy-et-Prin.

Cherche Ingénieur ESGT, ETP ou DPLG pour prendre en charge les travaux topographiques, les études VRD et développer projet informatique. Possibilité association, si affinité :
P. FRANÇOIS, 6, rue National, 36000 CHATEAUROUX.
Tél. : 54.22.27.38.

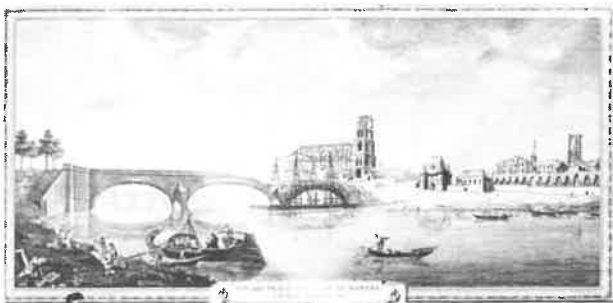
SOLUTION DU PROBLEME N° 3

Horizontalement. 1. Frigides. 2. Ouvreuses. 3. Serinette. 4. Ovation. 5. Ergo (Ogre). TVNE (vent). 6. Tonifia. 7. Tues. Slet (Tels). 8. Senteur. 9. Si. Sieste.

Verticalement. 1. Fossettes. 2. Rue. Rou. 3. Ivrognes. 4. Grivoises. 5. Iena. Ni. 6. Duettiste. 7. Estivales. 8. Séton. Eut. 9. Sénestre.

CONSTRUIRE DES PONTS AU XVIII^e SIECLE

par Jean-Rodolphe PERRONET, chevalier, architecte et premier ingénieur du Roi pour les Ponts et Chaussées



Cette réédition des "Oeuvres de M. Perronet", document édité pour la première fois en 1782, a pour auteur un grand ingénieur, témoin et acteur des transformations de toutes natures d'un 18^e siècle préindustriel, formateur visionnaire et déjà européen, philosophe de la technique et profond humaniste.

"L'art de la construction des ponts, des chemins, des canaux et de plusieurs autres travaux publics a acquis de la perfection par les grands ouvrages faits depuis un demi-siècle... C'est la description des méthodes et des moyens de construction de plusieurs de ces ouvrages que je présente aujourd'hui à Votre Majesté..."

Jean-Rodolphe Perronet dédiait ainsi au roi Louis XVI le bilan de plus de quarante années de constructions diverses.

Superbement illustré et écrit dans une langue où l'ingénieur se voulait alors pleinement accessible à l'honnête homme, ce livre se lit comme un roman et le lecteur se passionnera en découvrant les moyens humains, matériels et financiers mis en œuvre avant la révolution pour les grands ouvrages de travaux publics.

Au fil des pages, il découvrira des réalisations d'une grande valeur artistique, d'un aspect robuste et hardi, solides et élégantes, témoins d'une maîtrise technique évidente.

Au travers de nombreuses planches et gravures originales — la plupart présentées sur double page — il pourra examiner mille détails d'ingénieuses machines de transport, de levage, d'assèchement, réalisées pour la construction de ces ouvrages.

Les Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées ont voulu une présentation de qualité pour ce livre qui captivera tant l'ingénieur, que l'amateur d'histoire et de "beaux livres".

Sommaire : Pont de Neuilly - Pont de Mantes - Pont de St-Edme à Nogent-sur-Seine - Pont de Pont-Ste-Maxence - Pont de Château-Thierry - Pont de Brunoy - Pont de Rosoy - Pont des fontaines à Chantilly - Description de l'arche braise sur le ruisseau Bicheret - Pont projeté sur le Néva à St-Petersbourg - Pont

d'Orléans - Pont de la Place Louis XV - Pont de la Salpêtrière - Pont de Melun - Canal de Bourgogne - Canal de l'Yvette - Mémoire sur le cintrement et le décentrement des ponts.

Cet ouvrage grand format (26 × 36 cm), de 344 pages, illustré de 69 planches de dessins est imprimé sur un papier bouffant à l'ancienne, dans la typographie d'époque que l'on a conservée. Prix : 360 F.

Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 28, rue des Saints-Pères, 75007 Paris.

LA SIGNALISATION FERROVIAIRE

Roger RETIVEAU

Dès la création du chemin de fer, la signalisation s'est avérée indispensable à la sécurité et à la fluidité du trafic.

Du drapeau du garde sémaphoriste du siècle dernier à l'affichage des vitesses autorisées dans la cabine du TGV, la signalisation s'est développée en fonction des besoins et de l'évolution de la technologie.

En 19 chapitres, Roger Rétiveau, chef du département de la signalisation à la direction de l'Équipement de la SNCF jusqu'en 1987, décrit de façon exhaustive les installations réalisées en France avec des appareillages bénéficiant de l'expérience acquise par les cheminots et les constructeurs spécialisés.

Les 525 photographies en couleur et les 510 dessins et schémas de signaux, d'appareils de voie ou de postes d'aiguillage qui illustrent cet ouvrage en facilitent la compréhension et rendent la lecture particulièrement agréable.

Guide précieux pour les ingénieurs et techniciens du chemin de fer et de l'industrie ferroviaire, auxquels il permet de faire le point complet des connaissances les plus actuelles, ce livre passionnera également tous les amateurs de trains et leur apportera des informations parfois mal connues.

Sommaire : Les principes de la signalisation ferroviaire / L'établissement des circuits de signalisation / Les systèmes de détection de présence / Les appareils de voie : commande et contrôle / Les signaux : commande et contrôle / Les enclenchements mécaniques / Les enclenchements électriques / L'espacement des trains / Les installations permanentes de contresens / Les lignes à une voie banalisée et les lignes à voie unique / Les passages à niveau / Le poste à manettes libres / Le poste tout relais à transit souple / Le poste tout relais géographique à câblage standard / Le poste à relais à commande informatique / Les installations de sécurité des chantiers de voies de service / Les automatismes informatiques liés aux systèmes de signalisation / Les télétransmissions / La signalisation des lignes à grande vitesse.

1 volume relié, 24 × 33, 620 pages, 525 photographies en couleur, 510 dessins et schémas, 1987. ISBN 2-85978-102-1. Prix 800 F.

Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 28, rue des Saints-Pères, 75007 Paris.

REPRODUCTION PHOTOGRAPHIQUE

- agrandissements
- réductions
- remises à l'échelle en tous formats
- réductions/assemblages de plans à échelle imposée

- confection
- reproduction
- travaux spéciaux sur mosaïques topographiques

- travaux sur supports polyester
- typons offset tramés ou trait

HAUTE PRECISION

PHOTO-REPROGRAPHIE PHOTO-CARTOGRAPHIE

LES APPLICATIONS DE LA REPRODUCTION TECHNIQUE

5, rue de la Véga
75012 PARIS

(1) 43.47.15.92

STUPÉFIANT !

Alertez vos Brigades !

Saisie sur le terrain ...

Avec la station intégrée

SDM 3F SOKKISHA

Un prix saisissant

41 300 F H.T.

(Promotion valable jusqu'au 28/02/88 et dans la limite des stocks)

1000 à 1300 m avec 1 prisme

Précision le mgr tracking

Collimation automatique ... *(livré avec 2 batteries)*

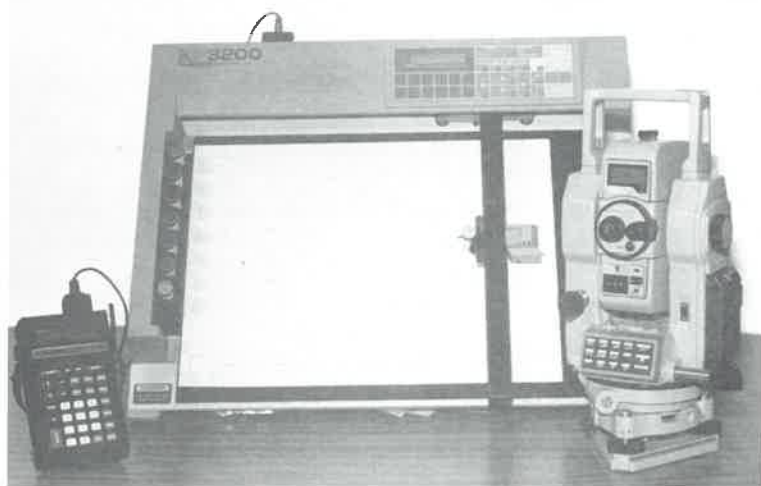


Au bureau ...

SDR 2

Le nouveau Pilote des tables traçantes

Le seul carnet élec-
tronique qui reporte
les points sans inter-
face supplémentaire



SOKKISHA, n° 1 au Japon, depuis 1920

Démonstration gratuite sur simple demande

EQUIMAT International

16, av. de la République - 78600 LE MESNIL LE ROI - Télex 696161 - Tél. (1) 39 62 35 28

RECREATIONS MATHÉMATIQUES

par Michel SAUTREAU

6. Le bon numéro

Une rue est bordée de 100 maisons : 50 d'un côté, portant les numéros pairs (2, 4, 6, ..., 98, 100) et 50 de l'autre, portant les numéros impairs (1, 3, 5, ..., 97, 99). La municipalité vient d'imposer aux propriétaires de remplacer les vieux chiffres composant les numéros respectifs de chaque maison par des numéros normalisés. Le prix des chiffres à utiliser pour former un numéro est le suivant : 1 F pour le chiffre 1 ; 2 F pour le chiffre 2 ; 3 F pour le chiffre 3, etc. ; le chiffre zéro, quant à lui, coûte 10 F.

M. Durand, qui ne manque pas d'astuces, calcule que, dans ces conditions, son voisin de gauche paiera 1 F de

plus que lui, bien que ce voisin ait un numéro inférieur de deux unités au sien, et que son voisin de droite, s'il est aussi astucieux que lui, paiera 7 F de moins que lui bien qu'il ait un numéro supérieur de deux unités au sien.

Quel est le numéro de la maison de M. Durand ?

7. La bille creuse

Un sac contient 81 billes, toutes de même dimension. L'une d'entre elles est creuse alors que toutes les autres sont pleines.

A l'aide d'une simple balance à deux plateaux, trouver la bille creuse à l'aide de 4 pesées seulement.

SOLUTIONS DES PROBLÈMES POSES DANS LE NUMÉRO PRÉCÉDENT

4. Le loto sportif

Les trois bulletins suivants suffisent pour obtenir au moins six résultats exacts sur les 16 rencontres du loto sportif :

Bulletin 1 : ne cocher que des 1 (les 16 équipes gagnent à domicile) ;

Bulletin 2 : ne cocher que des N (les 16 équipes font match nul) ;

Bulletin 3 : ne cocher que des 2 (les 16 équipes gagnent à l'extérieur).

En effet, si aucun des trois bulletins ci-dessus n'est gagnant, cela signifie qu'il y a eu, **au maximum** :

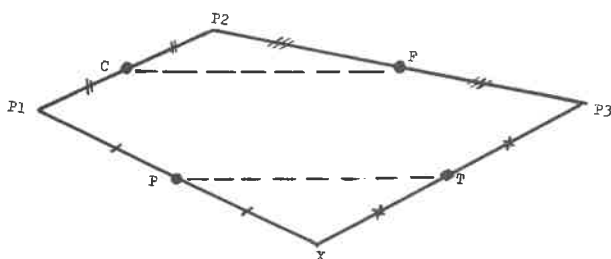
- 5 victoires à domicile
- 5 matchs nuls ;
- 5 victoires à l'extérieur.

Or, ce résultat ne fournit que 15 rencontres. Comme il y en a 16, la seizième rencontre est :

- soit une victoire à domicile ; dans ce cas le bulletin 1 est gagnant ;
- soit un match nul ; c'est alors le bulletin 2 qui gagne ;
- soit une victoire à l'extérieur, et le bulletin 3 est gagnant.

Ainsi, 3 bulletins suffisent pour obtenir, à **coup sûr**, 6 résultats exacts.

5. Le trésor du père François



Désignons par X le chêne, P le peuplier, C le cerisier, F le frêne et T l'emplacement du trésor du père François. La figure ci-jointe représente les mesurages qu'il aurait fallu effectuer, si le chêne avait toujours existé, pour déterminer la position de T en partant de X.

On observe sur cette figure que CF, segment joignant les milieux de P1P2 et de P2P3, est parallèle à P1P3 et égal à sa moitié. De même, PT, segment joignant les milieux de XP1 et de XP3, est aussi parallèle à P1P3 et égal à sa moitié.

Ainsi, CF et PT sont égaux et parallèles. Nul n'est alors besoin de connaître la position X du chêne pour déterminer celle du trésor T. Il suffit, pour cela, de partir du peuplier P et de mesurer, parallèlement à CF, une longueur égale à CF.

Errata concernant l'article Réduction des longueurs paru dans le n° 30 de XYZ, mars 1987

Page 19, 2^e colonne, 17^e ligne, lire : soit hB la hauteur du point visé B.

Page 20, 2^e colonne, 6^e ligne à partir du bas, lire : $AB' = (Dh)_{app} + C$

Page 21, 1^{re} colonne, Application numérique, lire : $(Dh_A)_{app} = Dp \cos i = 1\,236,238 \text{ m}$
 $Dh_A = (Dh_A)_{app} + C = 1\,236,219 \text{ m}$

Page 22, 1^{re} colonne, milieu de la page, lire :

$$OBB' = \omega + \frac{\pi}{2} + i'$$

Page 23, Fig. 5, ajouter I à l'intersection de ab et de AB.

Page 24, 2^e colonne, 18^e ligne, lire : 6 367 939,5175.

Page 27, 1^{re} colonne, 7^e ligne, lire : latitude.

Page 27, 1^{re} colonne, 9^e ligne : 6° est de Greenwich.

Page 28, 1^{re} colonne, 26^e ligne, lire : $i' = i - \rho$

Page 28, 1^{re} colonne, 31^e ligne, lire : Supposons qu'on ait stationné à la fois A et B.

BORNES & BALISES

B. P. 14 - Zone Industrielle
17290 AIGREFEUILLE d'AUNIS
Tél. : (46) 35-54-00

Une nouvelle technique révolutionnaire de bornage :

le système BISS de BORNES et BALISES, le complément indispensable d'un plan de récolement

Le système BISS de BORNES et BALISES est une technique révolutionnaire de matérialisation d'un point géométrique couplé à un mode de localisation permanent et précis au centimètre près.

PRINCIPE

Il est composé de deux éléments : le premier, actif, est un émetteur récepteur radio calé sur deux fréquences prédéterminées — l'une, d'émission, l'autre de réception — (Sondeur **2B SENSOR**) ; le deuxième, passif, dénommé "**BORA**" (borne radio).

Son principe correspond à une antenne qui renvoie sous un code précis le signal émis par l'émetteur **2B SENSOR**.

AVANTAGES

Depuis de nombreuses années, l'évolution des engins agricoles et de travaux publics ont rendu les bornes de plus en plus vulnérables. Grâce au système BISS, on peut raisonnablement concevoir aujourd'hui que chaque borne implantée permettra d'être conservée dans le temps et, par conséquent, amènera une économie importante dans la recherche de ces points.

En effet, par ses caractéristiques, le système BISS apporte les avantages suivants :

- durée de vie illimitée de la borne (élément passif sans énergie) ;
- pose et manutention ultra-rapides (poids de la borne : 50 g ; longueur : 11,5 cm ; diamètre : 2 cm) ;
- facilité de recherche du point grâce à sa personnalisation ;
- localisation unique sans interférence (aucun écran d'arrêt tel que béton armé, plaque de fer, pierres, eau, etc...) ;
- rétablissement du point avec une précision à la verticale d'environ 2 cm.



A gauche :
Repère topographique de réseau.

A droite :
Borne radio
"BORA".

Au centre :
Émetteur-récepteur
"2B SENSOR".

APPLICATIONS

Les performances de cette nouvelle technique de bornage ont amené la Société BORNES et BALISES à affecter des fréquences d'utilisation en accord avec les Administrations concernées :

- 25 KHz : IGN, Cadastres, bornes géodésiques, bornes de triangulation.
- 33 KHz : bornes foncières contrôlées par l'Ordre des Géomètres-Experts.
- 40 KHz : repère topographique affecté pour les repères de drainage, d'adduction d'eau et d'assainissement.

Le système BISS de BORNES et BALISES devient donc un outil indispensable dans le cadre des Banques de Données Urbaines et des nouvelles structures d'aménagement rural.



Détermination de verticalité
d'un point avec émetteur-
récepteur **2B SENSOR**.

Tous les topographes savent que la réalisation d'un plan de récolement nécessite en complément un balisage des points singuliers définis par rapport à la topographie des lieux. Au fur et à mesure des années, cette topographie peut changer et il devient plus compliqué pour les utilisateurs qui recherchent ces points, de les redéfinir.

Grâce au système BISS, le gain de temps dans la recherche va donc être considérablement diminué et il apportera une économie extrêmement intéressante, en particulier, dans le cadre de la recherche de réseaux.

L'ensemble des Administrations concernées a déjà implanté 10 000 points en FRANCE et les tests de recherche réalisés ont amené ces Administrations à homologuer définitivement ce système.

Répertoire des Annonceurs - N^{os} 32 et 33

ZEISS IENA	2 ^e CV
ZEISS IENA (LMK 1 000)	3 ^e CV
TOPO CENTER	4 ^e CV
LE PONT	2
THOMAS	4
TOPO CENTER	5
EDITIONS JACQUES GABAY	9
WILD (GRE 4)	10
SLOM	33
NIKON	34
WILD (RMS 2 000)	55
BORNE FENO	56
A.P.E.I.	67
SLOM	68
EQUIMAT	85
LART	84-88
BORNES ET BALISES	87

Le coin cuisine d'XYZ

GIGOT DE MER AUX NOUILLES FRAICHES

(Recette des Frères Troigros, place de la Gare à Roanne, Loire)

Pour 6 personnes :

Préparation : 1 heure

Cuisson : 50 minutes

1,2 kg de lotte
200 g de nouilles fraîches
5 tomates
1 carotte
1 oignon
3 gousses d'ail
1 dl de vin blanc
1 dl de crème
20 g de beurre
2 g de safran
Sel, poivre

Ebarbez la lotte et retirez le plus possible de peau. Avec un petit couteau, pratiquez de nombreuses entailles et piquez-les d'éclats d'ail.

Dans une sauteuse, posez la lotte et le beurre ; salez, poivrez et ajoutez la carotte et l'oignon. Mettez sur le feu et faites suer, à découvert.

Aussitôt l'eau évaporée, couvrir et laisser mijoter 20 minutes. Ajouter le vin blanc et faites cuire encore 25 minutes en arrosant souvent. Ajoutez enfin la crème et ramenez à ébullition. Otez alors la lotte et tenez-la au chaud à l'entrée du four.

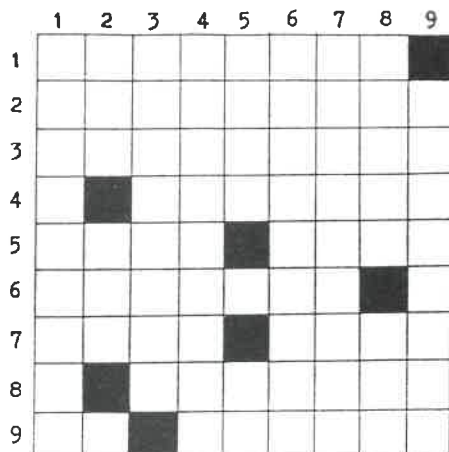
Dans une petite casserole, faites réduire le jus de cuisson d'un tiers environ. Ajoutez alors les tomates épluchées, égrenées et coupées en dés, ainsi que le safran. Faites bouillir pour obtenir une sauce liée.

D'autre part, faites cuire les nouilles fraîches dans une grande quantité d'eau salée. Comptez 4 à 5 minutes de cuisson. Egouttez-les. Dressez-les dans le fond d'un plat, posez la lotte chaude dessus et nappez de sauce très chaude.

Servez immédiatement.

Vin conseillé : Côtes-du-Rhône blanc.

MOTS CROISES



PROBLEME N° 3

Horizontalement. 1. N'ont pas de sens. 2. Alimentent les baignoires. 3. Boîte à musique. 4. Transport public. 5. De droite à gauche : amateur de lardons. Vent très désordonné. 6. Donna du punch. 7. Cachées. Pareils à l'envers. 8. Langage des fleurs. 9. Note. Somme.

Verticalement. 1. Petits trous de souris. 2. Non avenue. Route sans fin. 3. Vivent dans un état noir. 4. Gauloises vertes. 5. Spécialiste des lentilles. Symbole chimique. 6. Ne s'expriment que dans le couple. 7. En rapport avec les chaleurs. 8. Assure le drainage. D'un auxiliaire. 9. Avant gauche.

(La solution est donnée en page 83).

REPRODUCTION PHOTOGRAPHIQUE

- agrandissements
- réductions
- remises à l'échelle en tous formats
- réductions/assemblages de plans à échelle imposée

- confection
- reproduction
- travaux spéciaux sur mosaïques topographiques

- travaux sur supports polyester
- typons offset tramés ou trait

HAUTE PRECISION

LART

PHOTO-REPROGRAPHIE PHOTO-CARTOGRAPHIE

LES APPLICATIONS DE LA
REPRODUCTION TECHNIQUE

5, rue de la Véga
75012 PARIS

(1) 43.47.15.92