

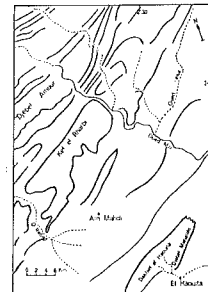
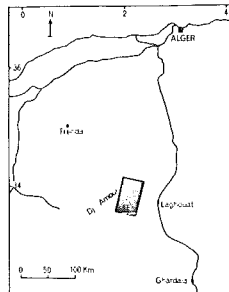


xyz

*Revue
de l'Association
Française
de Topographie*

COUVERTURE (voir aussi p. 16 et 39)

PREMIERES IMAGES DE SPOT - 23 FEVRIER 1986 - SPOT 1 - HRV 2 - K50 J282 - DJEBEL AMOUR, ALGERIE. Cette scène SPOT se situe dans le sud de l'Atlas à environ 50 km à l'ouest de Laghouat. Elle a été restituée à l'échelle du 1:200 000. L'extrait présenté est de 40 x 60 km². C'est une image couleur (multispectrale) avec une résolution de 20 m. On remarque les structures géologiques plissées dans la partie nord-ouest de l'image. En particulier les zones en rouge et en bleu qui correspondent à des terrains de nature différente associés à un couvert végétal différent (rouge : végétation, bleu : absence de végétation). On peut noter également la structure plissée très nette qui émerge de la plaine dans le coin sud-est. Les zones cultivées et les palmeraies apparaissent en rouge vif, disséminées le long des oueds. On peut en particulier noter les champs qui se trouvent vers le milieu du bord est de l'image. Produit par CNES-IGN. Distribué par SPOT-IMAGE.

**TRIMESTRIEL**

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

Secrétariat de l'AFT
et Rédaction XYZ
39 ter, rue Gay-Lussac
75005 PARIS
Tél. : (1) 43.54.19.21 pte 310
Ouverts les mardi et vendredi
de 10 h à 12 h

Comité de lecture**PRESIDENT**

Robert VINCENT
Ingénieur E.C.P.
Président de l'A.F.T.

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

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

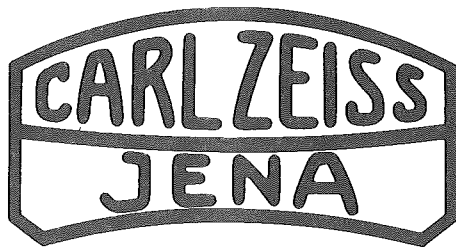
- Trois cents ans de géodésie française (suite)
par J.-J. LEVALLOIS 3

Colloque de Brest

- Bathymétrie : Topographie des mers et des rivières
par Jean BOURGOIN 15
- Propos sur la bathymétrie, par Etienne CAILLAU 17
- Reconnaissance bathymétrique des 2 sites
de forages profonds en Méditerranée ; résultats
par le Docteur F. LAPIERRE 21
- Reconnaissance bathymétrique à courte portée
Par Ph. GAUDILLERE 27
- Développements autour du sonar latéral par la
reconnaissance morphologique détaillée des zones
côtières
par J.-M. AUGUSTIN et S. BERNE 31

Gazette de l'A.F.T.

- L'AFT en visite dans le Lubéron 39
- SPOT 1 : Premiers résultats en vol : Colloque de Toulouse, 17-19 décembre 1986 39
- Premier Colloque National de l'Académie des Sciences sur la Figure de la Terre 40
- Saviez-vous que... 41
- Bibliographie 42
- Une activité légalement reconnue :
la topographie 44
- Mesure de flèche d'un radier par nivellement hydros-
tatique, par Marcel ALVERGNAT 45
- Tectonique et topographie au lycée, par J. BRET .. 47
- Problèmes d'implantation, par M. GODARD 53
- Le géodimètre 140 AGA : étude et utilisation prati-
que 56



UMK 1318, système modulaire de prises de vues photogrammétriques

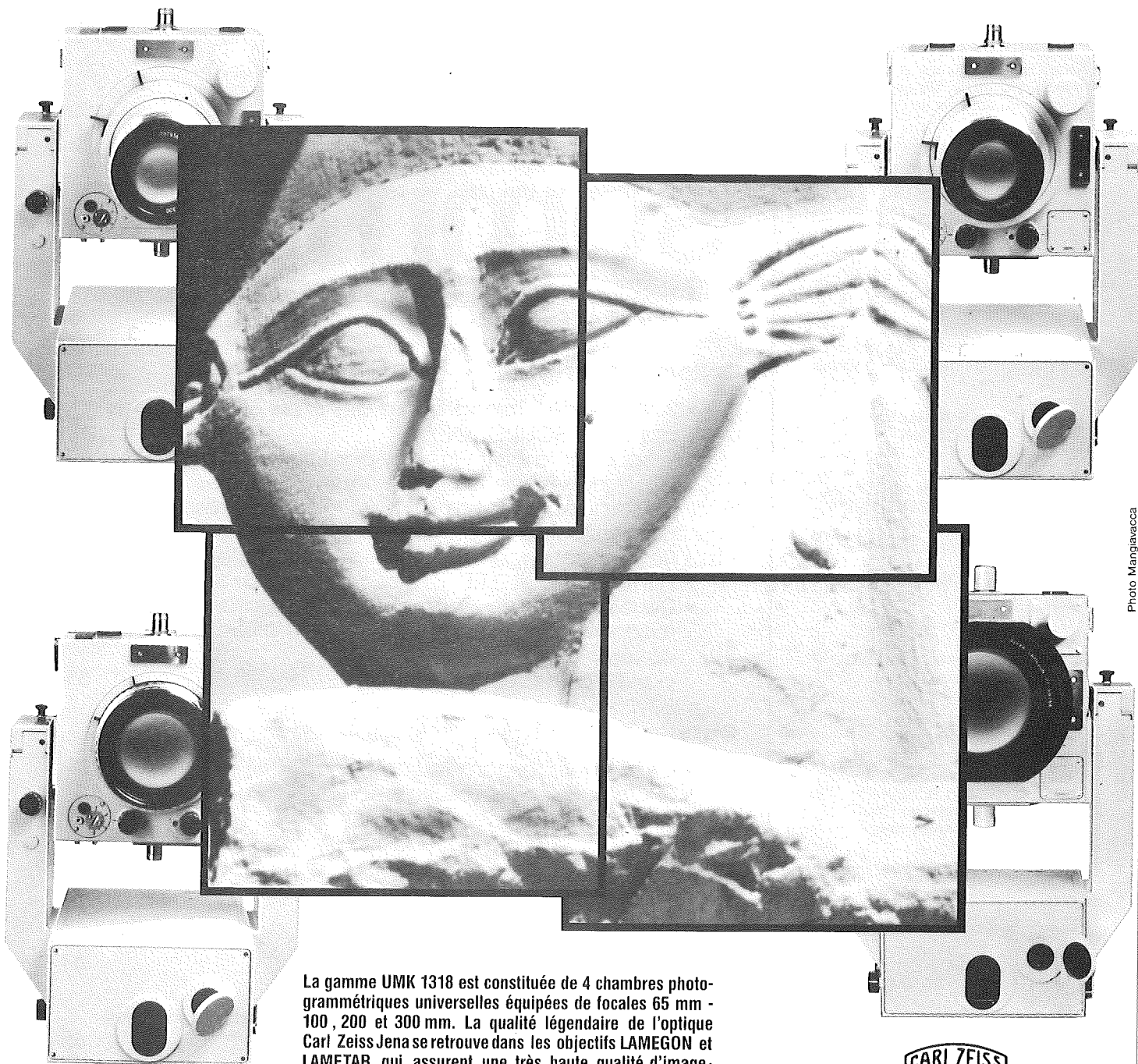


Photo Mangiavacca

La gamme UMK 1318 est constituée de 4 chambres photogrammétriques universelles équipées de focales 65 mm - 100, 200 et 300 mm. La qualité légendaire de l'optique Carl Zeiss Jena se retrouve dans les objectifs LAMEGON et LAMETAR qui assurent une très haute qualité d'image: noire, couleurs, infrarouge, etc.

Les prises de vues peuvent être faites en alternative avec plaques sensibles, film coupé ou rouleaux. Déclenchement de l'obturateur manuel ou électronique.

Cadence d'images: 3-4-5-6-8-10-15-20-25-30 secondes. Format utile d'image: 120 x 166 mm.

Sur option suspension verticale et unité pilote pour prises de vues aériennes.



Agent général pour la France VEB Carl Zeiss Jena

**COMPAGNIE GÉNÉRALE
DE PHYSIQUE**

Assistance - Maintenance

48, Bd. de la Bastille 75012 PARIS - Tél.: (1) 43 44 12 34 - Télex: 220 231 Cogéphy Paris

Documentation détaillée sur demande auprès des agents généraux.

Trois cents ans de géodésie française (suite)

Par J.-J. LEVALLOIS
Ingénieur Général Géographe

XI — De 1860 à 1914 La géodésie s'internationalise Nouveaux thèmes de recherches

En réobservant la méridienne de France, en opérant de concert avec les géodésiens Espagnols la liaison Hispano-Algérienne, F. Perrier et ses collaborateurs avaient accompli, dans le domaine de la triangulation une des tâches que le Bureau des Longitudes assignait à la géodésie française, dans son programme de 1862. D'autre part Perrier, en liaison étroite avec les astronomes Villarceau et Loewy mettait définitivement au point les méthodes de détermination des différences de longitudes par télégraphie, de la latitude, de l'azimut astronomique du réseau géodésique.

La collaboration étroite avec le Dépôt de la Guerre, également souhaitée par le Bureau des Longitudes fut facilement réalisée lorsque F. Perrier fut nommé membre du Bureau (1873).

Le programme de 1862 n'était pas sorti tout armé de l'imagination des astronomes et des géodésiens, c'était l'écho des travaux entrepris à l'étranger, qui mettaient en évidence l'effort à accomplir par la France pour reprendre sa place parmi les premiers violons dans le concert international.

Problème de l'ellipsoïde de référence : ce problème, avec ses retombées domine en fait directement ou indirectement toute la géodésie du XIX^e siècle.

L'ellipsoïde de Delambre,
 $a = 6.376.985 \text{ m}$, $\alpha = 1/308.64$
avait été utilisé pour la triangulation des Ingénieurs géographes, son seul support géodésique était d'une part la méridienne de Delambre et Méchain de Dunkerque à Barcelone qui définissait la longueur de l'arc et son amplitude astronomique à la latitude moyenne du pays, l'arc du Pérou de Bouguer - La Condamine d'autre part. La carte de l'Etat Major adoptant les coordonnées géographiques des points géodésiques calculées sur cet ellipsoïde, les avait piquées sur l'ellipsoïde de Plessis
 $a = 6.376.523 \text{ m}$ $\alpha = 1/308.64$

dont l'arc de méridien est égal à 10 000 000 de mètres exactement (ce qui revient à une homothétie des distances).

Mais depuis 1810 de nombreux travaux de géodésie s'étaient effectués, non seulement en Europe, mais dans l'Inde, les Etats-Unis avaient commencé la mesure d'un grand réseau de parallèles et de méridiens à l'échelle de leur pays.

L'Europe centrale continuait ou achevait ses triangulations. Tous ces travaux parmi lesquels il convient de citer l'arc de Struve (Russie) qui s'étendait du Cap Nord (Hammerfest) au delta du Danube (Ismailia) sur 25° de latitude, les chaînes de l'Inde, de Lambton et Everest, apportaient de nouvelles données au problème ; on a vu d'autre part que le vœu de F. Perrier était de compléter la collection des grands arcs par une méridienne internationale des Shetland à Laghouat (27° environ). Il en résultait une prolifération d'ellipsoïdes calculés à diverses époques, avec des données différentes : nous en donnons ci-dessous un tableau, limité à l'époque 1910. Il est tiré d'un document interne à l'IGN et n'est pas exhaustif.

Pays d'utilisation	a	α	Nom
France	6.376.985	1/308.64	Delambre (1810)
Inde anglaise ..	6.377.276.3	1/300.80	Everest (1830)
Russie	6.376.895.0	1/302.78	Walbeck (1819)
Europe centrale	6.377.397.55	1/299.15	Bessel (1841)
Grande-Bretagne	6.377.543.40	1/299.32	Airy (1848)
Espagne	6.378.298.3	1/294.73	Struve (?)
Suède	6.376.797.0	1/304.25	Svanberg (?)
Danemark	6.377.019.26	1/300.0	?
Pays-Bas	6.376.950	1/309.6	?
Etats-Unis	6.378.206.4	1/294.97	Clarke (1866)
France	6.378.249.2	1/293.46	Clarke (1880)
	6.378.200	1/298.3	Helmert (1907)
International 1924	6.378.388	1/297.	Hayford (1909)

Beaucoup de ces ellipsoïdes figurent maintenant au musée de la géodésie, mais cette énumération suffit à montrer l'intérêt que suscitait le problème.

Son importance essentielle repose surtout sur le nombre et la variété des questions qu'exigeait sa solution.

Il fallait :

— tenter d'accorder calculs des coordonnées géodésiques et résultats des mesures astronomiques, donc multiplier ces dernières,

— multiplier les mesures de pesanteur dans le monde entier pour obtenir des valeurs d'aplatissements gravimétriques (formules de Clairaut),

— étudier les discordances dans les deux cas. Essayer de voir si le calcul permettait de les expliquer, autrement dit comparer le champ de pesanteur de l'ellipsoïde au champ terrestre réel, tâcher de déduire l'un de l'autre.

Attraction des montagnes : l'attraction des masses montagneuses fut tout de suite mise en cause. Déjà au XVIII^e siècle, Bouguer au Pérou avait

cherché à mettre en évidence l'attraction du Chimborazo ; il avait trouvé un résultat bien plus faible que prévu, mais l'idée subsistait.

Nous avons vu que La Caille, reprenant une idée émise par Bosovich estimait que le voisinage des Pyrénées pouvait influencer sur la direction de la verticale.

La première proposition du Bureau des Longitudes, à savoir étudier et calculer les influences des masses extérieures était donc tout à fait à l'ordre du jour. Elle pouvait recevoir plusieurs types de solutions.

1 - Déterminer par comparaison entre les résultats expérimentaux issus des observations astronomiques ou gravimétriques et les valeurs sur l'ellipsoïde, les types de solutions qui minimisaient les différences, ne fut-ce qu'en moyenne.

2 - Imaginer des méthodes de traitement qui prenant en compte l'existence de ces discordances permettaient de passer de la structure ellipsoïde à celle du champ réel de la pesanteur et à la forme différentielle de ses surfaces de niveau ou encore en déduire la forme d'une surface équipotentielle du champ terrestre, par exemple la surface moyenne du niveau des mers prolongée sous les continents où elle continuerait à être normale à la direction de la pesanteur et servir en première approximation d'origine aux nivellements. Listing proposa de la nommer "géoïde", le mot devait faire fortune.

Les géodésiens anglais venaient apporter de très importantes réponses à ces questions.

1 - Ils avaient constaté que dans l'Inde, l'action du massif de l'Himalaya sur la verticale était systématiquement très inférieure à celle que l'on calculait par l'attraction des masses du relief.

Pratt et Airy furent amenés à expliquer ce phénomène en postulant sous les montagnes un déficit systématique de densité dû à la structure de la croûte, donnant ainsi naissance aux célèbres théories isostatiques (1856).

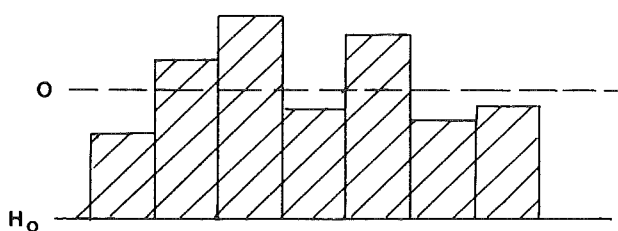


Fig. 41

Selon Pratt (fig. 40), au-dessus d'une certaine profondeur H_0 , dite de compensation — elle sera fixée plus tard aux environs de 120 kilomètres — on peut décomposer le relief en prismes indépendants, de même base, chacun d'entre eux exerce la même pression sur cette base, chacun a donc sensiblement même masse, par conséquent la densité d'un prisme montagneux est inférieure à celle d'un prisme sous-marin et la différence de densité, proportionnelle à l'altitude au-dessus de la surface de compensation, explique qualitativement et quantitativement en moyenne, la discordance constatée, qui peut se calculer.

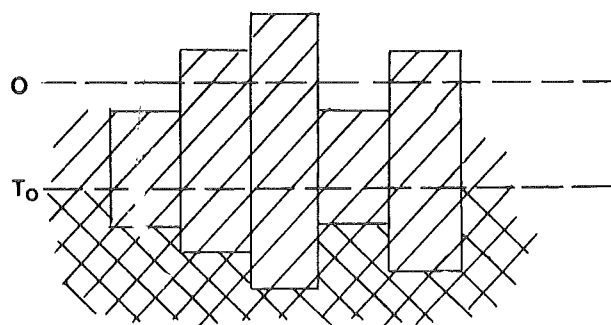


Fig. 40

Pour Airy, (fig. 41) le processus de compensation s'explique par le principe d'Archimède : à une profondeur de l'ordre de 30 à 40 kilomètres T_0 , existe un magma de densité supérieure à la croûte, dans lequel plongent les blocs verticaux de densité inférieure ; il y a donc déficit à la racine, puisque le bloc est soutenu par la poussée d'Archimède agissant sur un milieu de moindre densité. Le déficit d'attraction provient de la partie immergée plus légère que le magma de flottaison, donc beaucoup plus profonde sous les montagnes.

2 - D'autre part en 1849, le mathématicien Stokes montrait qu'étant donné deux corps limités par des surfaces de niveau quasi sphériques, de même masse, de même centre des masses, en rotation autour du même axe à la même vitesse angulaire, il était possible de calculer la distance en chaque point, de l'un à l'autre si l'on connaissait les champs de pesanteur respectifs. Prenant donc l'ellipsoïde de référence comme origine, y déterminant le champ de pesanteur calculée par la formule de Clairaut, l'anomalie de pesanteur g observé - g calculé = Dg , permettrait de rapporter la forme du géoïde à celle de l'ellipsoïde par une intégrale double portant sur toute la surface d'une terre sphérique, connaissant Dg partout, y compris sur mer !

On savait donc, dès le milieu du XIX^e siècle comment théoriquement passer de l'ellipsoïde au géoïde mais c'est le matériel expérimental qui manquait : il fallait encourager chaque pays à multiplier les mesures astronomiques, géodésiques et gravimétriques et si possible unifier tout l'ensemble.

Ce fut un des rôles que se fixa l'Association Géodésique Internationale.

L'Association Géodésique Internationale : nous avons évoqué plus haut la création de "l'Europäische Gradmessung" organisme international visant à devenir un forum scientifique de la géodésie, où les contractants pouvaient discuter de projets à grande échelle, prendre connaissance des résultats nouveaux, faire connaître les leurs.

Une conférence des premiers états adhérents se réunissait à Berlin en 1864, elle décidait de créer une Commission permanente et un Bureau Central.

La commission permanente (de 7 membres) était l'organisme scientifique supérieur et permanent de l'entreprise, chargé d'apprécier les travaux exécutés par le Bureau Central et de faire connaître les mesures les plus appropriées pour assurer l'unité des travaux et des publications géodésiques, de réunir les conférences internationales, etc...

Le Bureau central était chargé de la besogne matérielle, sous les directives de la Commission permanente. Il faisait la synthèse des rapports nationaux des pays adhérents, sous forme d'un rapport général publié, exécutait certains travaux d'études techniques ou théoriques, conservait des archives et la bibliothèque, etc...

Il était domicilié à Potsdam, aux frais de l'état Prussien, dans l'Institut géodésique.

Les recommandations scientifiques initiales étaient :

- uniformisation de l'échelle des travaux nationaux par référence à la toise de Bessel, adoption ultérieure du mètre, et d'un système décimal unique de Poids et Mesures,
- exécution de nivellements de précision, choix pour chaque pays d'une référence unique des altitudes, liaisons internationales entre nivellements nationaux.

En 1887 l'Europäische Gradmessung devient l'Association Géodésique Internationale, groupant vingt états — dont la France — cosignataires d'une convention diplomatique très détaillée. Elle travaille activement sur un programme élargi. Les grandes lignes de son action scientifique peuvent se résumer ainsi :

- coordination de travaux géodésiques internationaux décidés dans le cadre de l'Association, 52^e parallèle jusqu'en Russie, arc du Spitzberg, nouvelle méridienne de l'Equateur,
- coordination des mesures astronomiques pour l'étude et la réalisation de mesures systématiques de déviation de la verticale,
- étude des variations de l'axe de rotation terrestre : création d'un "Service International des Latitudes",
- élaboration d'un premier réseau gravimétrique mondial, puis d'un deuxième, le fameux "système de Potsdam",
- publications de travaux théoriques.

La première guerre mondiale mettra ses activités principales en sommeil.

La France, qui avait adhéré à l'Europäische Gradmessung vers 1875, participera activement à tous ces travaux et à une bonne partie de ces recherches, qui étaient tout à fait dans la ligne du programme de 1862 du Bureau des Longitudes, des idées à l'ordre du jour à l'Académie des Sciences et à la section de géodésie du Dépôt de la Guerre.

C'est à ces travaux que nous allons maintenant revenir, en nous rappelant qu'en dehors des levés géodésiques d'intérêt strictement national comme la conception et l'exécution des réseaux de triangulation et de nivellement destinés à l'équipement du pays, la géodésie était désormais une science internationale.

Réductions de la pesanteur. Contributions de Faye : de même que les massifs montagneux importants n'exercent sur le fil à plomb qu'une attraction très inférieure à ce qu'elle devrait être,

de même l'attraction de la croûte terrestre sur le pendule paraît inférieure à ce que laisserait croire un calcul tendant à tenir compte de l'épaisseur de croûte comprise entre l'altitude de l'expérience et le niveau zéro (géoïde) ; la seule explication possible reste la même ; l'attraction de la matière extérieure au géoïde est compensée par un déficit de masse sous les continents - ce qu'expriment parfaitement les hypothèses isostatiques de Pratt et Airy, pour lesquelles le défaut interne de masse égale celui de la surcharge extérieure.

Bouguer comme on l'a déjà dit cherchait à "réduire" ses mesures au niveau de la mer — pour les rendre comparables entre elles — en apportant deux corrections :

1) une première correction avait pour but de soustraire de la valeur observée de la pesanteur, l'action d'une calotte sphérique ayant pour épaisseur l'altitude H de la station et pour densité celle des matériaux superficiels (admettons 2.67...). C'est la correction de plateau (ou de Bouguer) (fig. 42) ;

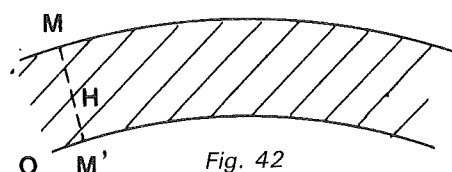


Fig. 42

2) une deuxième correction ramenant, après suppression de la matière intermédiaire, la mesure au niveau zéro en faisant intervenir le gradient de pesanteur d'une terre quasi sphérique.

La première correction diminue la valeur de g (par suppression de matière attractive) la seconde l'augmente puisque l'on se rapproche du centre de la terre on a :

$$g(o) = g(H) \left(1 - \frac{3}{2} \frac{H}{R} \cdot \frac{d}{D} + \frac{2H}{R} \right)$$

R : Rayon terrestre

d : densité superficielle (2,67)

D : densité moyenne (5,5)

L'application systématique de cette formule confirma les géodésiens dans la nécessité de postuler un défaut de masse sous les continents, en accord avec les géodésiens anglais et d'autres : Saigey, dans sa "Petite Physique du Globe" constatait déjà (vers 1840) qu'il y avait excès de masse sous les îles et déficit sous les continents si l'on voulait accorder les mesures de pesanteur réelle avec une pesanteur théorique tirée de la formule de Clairaut.

C'est alors que Faye, se basant sur les remarques de Pratt et Airy et de leurs prédécesseurs proposa de supprimer purement et simplement la correction de plateau, et montrait qu'en général, surtout pour les stations élevées, la suppression de ce terme permettait un meilleur raccord avec la formule de Clairaut.

Pour lui, la meilleure réduction ne devait tenir compte que du terme correctif $2H/R$ dit réduction à l'air libre - c'est en effet la valeur que l'on trouverait si l'observation avait été faite en un point de

l'espace M, sans interposition du plateau, support de la station. Il conseillait toutefois de tenir compte de la composante verticale des masses topographiques, situées au-dessus du relief général.

Il ne faut pas perdre de vue qu'un raccord à peu près satisfaisant avec la formule de pesanteur de Clairaut aurait permis d'obtenir, puisque les mesures de pesanteur se multipliaient, une valeur plus correcte de l'aplatissement de l'ellipsoïde de référence que celle que l'on obtenait par emploi des arcs de triangulation.

On sait en effet que le coefficient β de la formule $g = g_E (1 + \beta \sin^2 2L)$ est lié à l'aplatissement α , encore mal connu à l'époque, par la relation de Clairaut

$$\alpha + \beta = 5/2 m \quad m = 1/288.5$$

Supposer comme le faisaient Pratt ou Airy un déficit de masse égal à l'excès extérieur, à une faible profondeur sous les continents, revient grossièrement à dire que les deux effets s'annulent ce qui justifie en première approximation la proposition de Faye.

La correction à l'air libre — avec ou sans terme complémentaire — est souvent encore appelée réduction de Faye. Faye s'était également intéressé aux constantes d'un ellipsoïde de référence, c'est ainsi qu'il avait proposé (CRADS T90 - 1880).

$$a = 3272562 \text{ Toises (sic)} = 6378343 \text{ m} \\ \alpha = 1/294.5$$

en utilisant la majorité des arcs connus à l'époque.

Il fut amené à prendre part à une discussion importante sur les déviations de la verticale : Stebnitzky avait fait connaître que le massif du Caucase paraissait n'être pas compensé. Sans vouloir entrer dans une discussion des observations, Faye fait observer que la généralisation de cette hypothèse provoquerait au voisinage des côtes océaniques des bosses du géoïde de l'ordre de 1 000 mètres et ajoute (CRADS T97) :

"Mon opinion est au contraire que l'attraction des continents et le défaut d'attraction des océans ne modifient pas la surface mathématique de la terre, et que le niveau des mers ne se relève pas sensiblement sous l'influence des continents, sauf les ondulations minimales et toutes locales dues aux saillies superficielles..." Il donne à l'appui de sa conviction les arguments suivants :

— L'accord correct des mesures de degré avec les arcs correspondants d'un ellipsoïde qu'il propose : $a = 6378393 \text{ m.}$ $\alpha = 1/291.9,$

— la faiblesse relative des désaccords entre le nivellement géométrique de précision et le nivellement géodésique - argument solide,

— l'accord plus satisfaisant des mesures pendulaires réduites à l'air libre avec les valeurs théoriques sur l'ellipsoïde.

Je me permets de donner sur la question un point de vue personnel : la confrontation entre valeurs théoriques de la pesanteur - ou déviations de la verticale - et valeurs observées implique la conception d'un modèle de comparaison proposé par le théoricien (le mot de "réduction" est trompeur et mal choisi). On veut, par des opérations précises por-

tant sur l'ellipsoïde — et non sur la terre réelle — reconstituer de manière exactement calculable, des variations de verticale et de pesanteur, rapprochant le champ de la pesanteur superficielle de ce modèle des éléments terrestres réels correspondants, en conservant la masse totale (théorème de Gauss) :

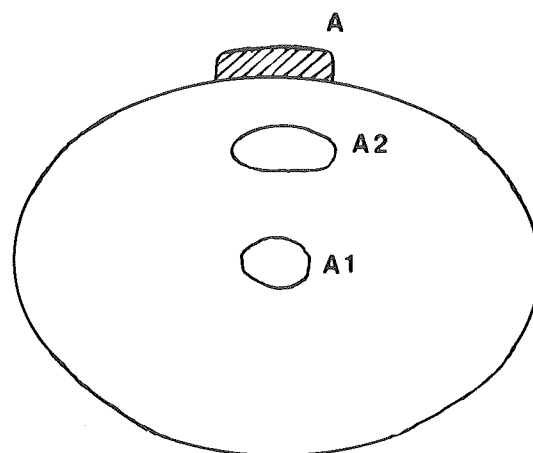


Fig. 43

— on peut par exemple construire sur l'ellipsoïde de Clairaut un plateau de densité 2.67 en prélevant la masse nécessaire au centre de la terre... ce qui donne la correction de Bouguer, la masse prélevée au centre ne modifiant pratiquement pas les valeurs superficielles (couple A A1) (fig. 43),

— ce modèle ne donnant pas satisfaction (le champ terrestre est plus exigeant) on constate que prélevant la matière en A2, voisin de la croûte, la comparaison est beaucoup plus satisfaisante, on crée ainsi un modèle isostatique (selon Pratt ou Airy), on constate que les anomalies sont bien réduites en moyenne,

— si A2 est très voisin de la surface, on retrouve la réduction dite de Rudski (1907) image miroir négative de la topographie...

— la réduction de Faye correspond à une surface topographique de masse nulle.

C'est à l'expérience de décider du choix du meilleur modèle s'il en existe un en même temps que du plus simple et du plus maniable. Il est évident que le géoïde existe indépendamment de tout modèle plus ou moins approché, et on peut montrer que quel que soit le modèle choisi on obtient (par la formule de Stokes) en calculant correctement les effets indirects et les nouvelles anomalies, le même géoïde, mais ceci exige une couverture mondiale de mesures de g , qui encore actuellement n'est pas complète ; le succès d'un modèle n'implique nullement de vraisemblance ou sa réalité géophysique.

Faye (1814-1903), astronome réputé, de grande puissance de travail, fut le grand animateur scientifique de la géodésie française de la 2^e moitié du XIX^e siècle ;

— il fut le principal inspirateur du programme de 1862 du Bureau des Longitudes,

— il fut l'appui scientifique principal de F. Perrier

pour la réfection de la Méridienne de France et la poursuite des travaux de triangulation,

- il comprit toute l'importance des mesures télégraphiques de longitude,
- il comprit également toute l'importance de la collaboration internationale en géodésie, et à ce titre présida l'Association géodésique internationale de 1892 à 1902.

Travaux de Helmert et de Hayford : Helmert, directeur du Bureau Central de l'Association géodésique internationale, pour éviter certaines difficultés mathématiques résultant des irrégularités de la forme extérieure de la terre, calculait une pesanteur régularisée par sa méthode de "condensation" : il traçait sous le géoïde, à une profondeur de 21 kilomètres (fig. 44), une surface parallèle au géoïde. Il y condensait ou aplatissait toutes les masses extérieures, et calculait le potentiel de ce corps fictif, dont le développement est convergent dans tout l'espace extérieur au géoïde G, il en déduisait par conséquent une valeur mieux lissée de la pesanteur sur le géoïde et identifiant en moyenne sur la formule de Clairaut, trouvait un aplatissement de 1/298.2 (1901).

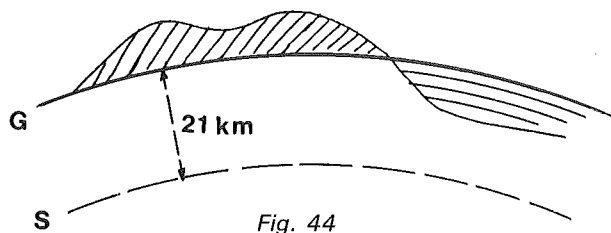


Fig. 44

Le géodésien américain Hayford, partant de l'hypothèse isostatique de Pratt, décidait de calculer pour toutes les stations astronomiques du réseau géodésique des Etats-Unis, les déviations théoriques de la verticale résultant du relief réel et de sa compensation, et de comparer le résultat aux déviations de la verticale réellement observées. Pour chacune des 500 stations du réseau, il devait décomposer le relief géographique en prismes verticaux s'étendant jusqu'à la profondeur de compensation et évaluer pour chacun son action attractive horizontale - besogne énorme. Adoptant diverses profondeurs pour la surface de compensation, il en déduisit qu'une valeur de l'ordre de 120 kilomètres réduisait la discordance moyenne de 33'' à 3'' (46).

Il en profite pour calculer l'ellipsoïde le mieux adapté au réseau astrogéodésique des Etats-Unis, dont les chaînes fixaient l'échelle et les déviations de verticale calculées définissaient la courbure.

Il obtint ainsi les constantes de son célèbre ellipsoïde (1909).

$$a = 6378388 \text{ m} \quad \alpha = 1/297$$

qui sera considéré pendant longtemps comme la valeur la plus sûre et adoptée en 1924 comme référence officielle par les instances scientifiques internationales.

Hayford et Bowie furent amenés à effectuer le même calcul pour la réduction des données gravi-

métriques. Ils trouvèrent des profondeurs de "compensation" se recoupant assez bien avec celle que donnaient les déviations de la verticale, et permettait de tirer parti de l'aplatissement obtenu par la formule de Clairaut, c'est ainsi que Bowie obtenait de cette manière

$$\alpha = 1/297.3 \text{ (1917)}$$

Précession des équinoxes et aplatissement :

les recherches de d'Alembert sur la précession des équinoxes (1749) donnaient l'explication mécanique correcte et mettaient en évidence le rôle du rapport $(C-A)/C$ où, nous le rappelons, C est le moment d'inertie de l'ellipsoïde terrestre de révolution par rapport à l'axe de rotation oz et A le moment d'inertie par rapport à un axe équatorial. L'observation astronomique fixait à cette constante la valeur

$$(C-A)/C = 1/305.5$$

On s'aperçut vite que ce résultat impliquait une antinomie, car si la terre était un ellipsoïde homogène, le raisonnement de Newton lui imposait un aplatissement de 1/230, mais on démontre sans peine que pour un ellipsoïde de révolution homogène faiblement aplati, le rapport $(C-A)/C$ est égal à l'aplatissement : soit $\alpha = 1/305.5...$ On ne pouvait concilier les deux résultats qu'en supposant la densité terrestre variable avec la profondeur et on a vu que Clairaut avait déjà inféré des mesures de pesanteur que l'aplatissement était certainement inférieur à 1/230. Toutes ces raisons avaient précipité la Suède à faire reprendre l'arc de Laponie par Svanberg.

On devait donc, si on admettait toujours pour la surface terrestre la forme d'un ellipsoïde de révolution, rechercher des lois raisonnables de densités internes susceptibles de lever la contradiction et respectant un certain nombre de conditions a priori il paraissait logique de supposer :

- que les densités terrestres croissent de la surface vers le centre de la terre,
- que par équilibre hydrostatique, cette densité se répartissait par couches homogènes successives admettant elles aussi la symétrie de révolution et la symétrie équatoriale,
- que la densité moyenne de la terre D_m devait être a priori très voisine de 5.52 comme on pouvait le déduire de certaines expériences de physique, telle que celle de Cavendish, qui dès 1789 avait mesuré la constante G de l'attraction universelle (correspondant à $F = G \text{ mm}'/r^2$) ce qui, pour une terre sphérique, donne

$$D_m = \frac{4}{3} \pi G R \text{ avec } G = 6,670 \times 10^{-11} \text{ (S.I.)}$$

- que la densité superficielle D (1) était de l'ordre de 2.67,
- il existe enfin une équation différentielle du 2^e ordre, due à Clairaut (20) qui lie l'aplatissement des couches internes homogènes successives à la profondeur de la couche, et à sa densité, en y supposant réalisé l'équilibre hydrostatique et les aplatissements petits. Il est impossible de s'étendre ici sur l'intégration de cette équation (26,2), (21), mais

sachons que son étude mathématique donne déjà des informations intéressantes (fig. 45) :

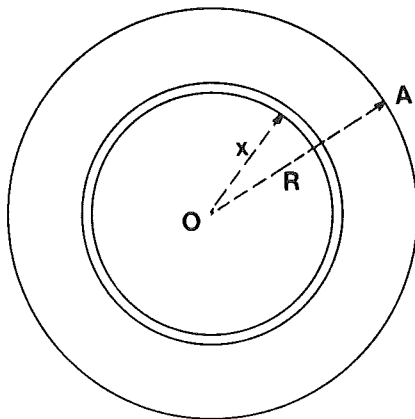


Fig. 45

- l'aplatissement des couches homogènes va en croissant du centre de la terre vers la surface,
- l'aplatissement extérieur est certainement compris entre les limites

$$1/2 m \leq \alpha \leq 5/4 m \quad m = \omega^2 a/g$$

— d'autre part, au point de vue mathématique, cette équation rentre dans un type que l'on peut intégrer en supposant pour l'aplatissement, fonction de la quantité $r = x/R$, un développement en série de la forme

$$\alpha = K (1 + C_2 r^2 + C_4 r^4 + \dots) \quad 0 \leq r \leq 1$$

rapidement convergent, pour des lois de densité "raisonnables".

— la constante K du développement en série peut être identifiée par une condition vérifiée à la surface.

Actuellement, c'est de la sismologie que l'on tire les conclusions les plus nettes sur la constitution physique de la terre, sa structure interne en fonction de la profondeur, sa densité, ses discontinuités, etc (44.1). Au XIX^e siècle la sismologie était encore dans l'enfance : on se proposait donc des lois de densité basées sur des hypothèses a priori, par exemple :

1) La loi de Roche, de type parabolique :

En ajustant cette loi sur les valeurs $D(2) = 5.52$ $D(1) = 2.67$ on trouve $D(r) = 9.79 - 7.12 r^2$... ce qui fixe l'aplatissement à $\alpha = 1/288$.

Si on prend $D(1) = 2.40$ on trouve $\alpha = 1/294$ autrement dit une faible variation de la densité superficielle moyenne, quantité par ailleurs très difficile à évaluer, provoque des variations très importantes de l'aplatissement résultant.

2) La loi de Legendre-Laplace basée sur l'hypothèse que les corps constituant la terre sont d'autant moins compressibles, qu'ils sont plus comprimés. Ceci revient à postuler une relation différentielle du type

$$dD = \frac{dp}{f(D)} \dots\dots$$

dp étant la variation de pression qui doit d'autre part obéir à l'équation d'équilibre hydrostatique, $f(D)$

étant une fonction croissante de la densité. En admettant $f(D) = KD$ Legendre trouve une loi $D(r) = D(o) \sin(nr)/nr$ où n est un coefficient qui, comme $D(o)$, s'obtient par identification sur $Dm = 5.52$ $D(1) = 2.67$. On trouve ainsi $\alpha = 1/295.1$.

Pour $D(1) = 2.60$, on trouve $\alpha = 1/297.1$ et on peut faire la même remarque que précédemment.

E. Tisserand (26.2) donne le résultat de calculs effectués dans diverses hypothèses numériques avec la loi de Legendre-Laplace ; la variable étant $D(1)$, densité superficielle, ($Dm = 5.52$).

D(1)	D(o)	α	(C-A)/C
2.93	10.53	1/289	1/294.7
2.83	10.75	1/291.2	1/297.9
2.73	10.98	1/293.9	1/301.2
2.63	11.22	1/296.7	1/304.8
2.52	11.47	1/299.7	1/308.5

et l'on voit qu'un aplatissement de l'ordre de $1/297.1$ ou $1/297.2$ correspond à une densité de 2.60 environ et à $(C-A)/C = 1/305.5$.

La loi interne réelle telle qu'on la connaît aujourd'hui (44,1) est très différente et il ne faut pas trop s'extasier sur ces résultats qui prouvent seulement qu'il existe une large gamme de possibilités permettant d'obtenir des résultats assez corrects. Mais de même que Clairaut démontrait, sous la seule hypothèse que le sphéroïde terrestre soit de niveau, les trois célèbres relations entre aplatissements

$\alpha = (a-b)a$, $\beta = (gp - gE)g$, $m = \omega^2 a/g$ on présentait que l'équation de Clairaut laissait d'autres possibilités.

Ce fut Radau qui le montra en 1885. Grâce à un très habile changement de variables dans l'équation de Clairaut il montre que l'on peut écrire :

$$(C/(C-A)) (\alpha - 1/2m) + 2/5 \sqrt{\frac{5m}{2\alpha}} - 1 = 1 + k$$

qui fixe α ; k étant un très petit nombre au maximum égal à 0.0004 (26.2).

Il en déduisit un aplatissement de l'ordre de $1/297$.

Henri Poincaré montra mathématiquement peu après que l'aplatissement ne pouvait être supérieur à $1/297.3$ (dans l'hypothèse hydrostatique).

Henri Poincaré (1854-1912) fut un des grands mathématiciens mondiaux, digne successeur des Lagrange, Laplace et autres Cauchy.

En dehors de ses travaux de mathématiques pures, de physique mathématique, de mécanique céleste, de philosophie scientifique, il s'intéressait également à la géodésie dont il comprenait l'intérêt - nous le retrouverons plus tard.

Le résultat que nous venons de citer était important : à l'époque, les géodésiens recherchaient les constantes caractéristiques d'un ellipsoïde de référence adapté à l'ensemble des mesures d'arc connues, et le service géographique de l'Armée venait précisément de choisir pour le calcul de la Nouvelle Triangulation l'ellipsoïde de Clarke 1880, dont

l'aplatissement est $1/293,46...$ Faye de son côté trouvait $1/294,5$, $1/291,9$.

En prouvant que la connaissance de la constante de la précession imposait par l'intermédiaire de l'équation de Clairaut un aplatissement inférieur à $1/297,3$. Radau et Poincaré montraient l'insuffisance des mesures d'arc, malgré tout locales, pour le fixer et prédisaient l'avenir : tous les résultats ultérieurs (Helmert, Hayford, Heiskanen, Isotof) confirmeront cette conclusion et on sait que l'étude du mouvement des satellites artificiels fixe cette valeur à $1/298,25$.

Dans une autre étude (45-1901) H. Poincaré montre que si on connaît le champ de la pesanteur sur toute l'étendue de la terre, on peut en déduire la forme du géoïde. Il réduit à cet effet les mesures de pesanteur à la surface d'une sphère de rayon sensiblement égal au petit axe terrestre, par la méthode de "condensation" des masses extérieures à cette sphère, comme le préconisait Helmert.

Il en déduit une relation entre rayon du géoïde et anomalie de la pesanteur, qui intégrée sur toute la surface de la sphère définit le rayon du géoïde en tout point : sa formule est exactement celle que Stokes avait obtenue en 1849, comme le lui fit remarquer O. Callandreau (45-1901) auteur de très bons travaux sur ces questions.

On doit également à Henri Poincaré des recherches très élevées sur la forme d'équilibre que peut prendre un corps homogène fluide en rotation uniforme soumis aux actions de sa propre pesanteur et de la force axifuge par rapport à un axe passant par son centre des masses. Ce problème peut être envisagé sous deux aspects :

- 1) étant donné une surface connue, peut-elle être surface d'équilibre et dans ces conditions quelles sont les contraintes qu'impose la solution,
- 2) trouver les surfaces d'équilibre dans le cas général.

Le 1^{re} problème a été résolu par Mac Laurin en 1742, qui a montré que sous certaines conditions regardant les dimensions, la densité, la vitesse angulaire de rotation, l'ellipsoïde de révolution est une solution. Il retrouve l'ellipsoïde de Newton, et on peut montrer que pour un ellipsoïde ayant les caractéristiques géométriques de la référence terrestre et sa vitesse angulaire de rotation ω , la densité uniforme D_0 devrait être de l'ordre de 7,2, solution non admissible.

Jacobi a de son côté montré que l'ellipsoïde à 3 axes pouvait être surface d'équilibre en rotation autour de son petit axe, mais les conditions qu'impose la solution du problème entre densité, axes, rotation, attribuent au solide une forme très allongée, qui ne convient pas comme référence terrestre.

2^e dans le cas général on se donne un potentiel (Newtonien par exemple).

Il faut définir la forme d'une surface $F(x, y, z) = 0$, telle que les composantes du potentiel $W + U$ (U potentiel centrifuge) de la matière contenue dans le volume délimité par F soient normales à la surface $F = 0$, or, comme il est visible, ces com-

posantes dépendent elles-mêmes de la forme attribuée à la surface qu'il faut déterminer ! On a donc affaire à une équation aux dérivées partielles, très difficile à résoudre, avec condition aux limites.

H. Poincaré a réussi à montrer qu'il existait d'autres solutions que les ellipsoïdes de Mac Laurin et de Jacobi, en particulier il annonce (26,2).

"... si on laisse de côté certaines formes d'équilibre où la masse en question se subdivise en deux ou plusieurs corps isolés et d'autres où elle prend une configuration annulaire, il existe encore une infinité de figures d'équilibre... Parmi ces figures, il n'y en a qu'une qui est stable et elle a deux plans de symétrie seulement...". C'est son fameux solide piriforme (en forme de poire - et non pyriforme !).

Tournant autour de Gz , il n'est pas de révolution et sa section par un plan normal à l'axe Gy est un ovale aplati. Ses plans de symétrie sont yz et xy . Les travaux de Poincaré sur ce projet furent en France prolongés par Véronet (fig. 46).

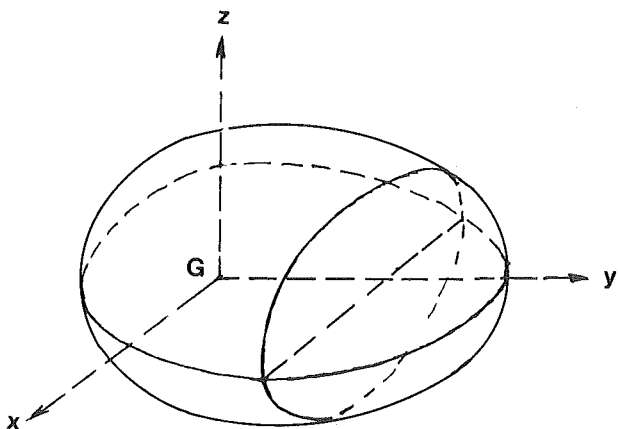


Fig. 46

Mesures absolues de pesanteur : les mesures du XVII^e et du XVIII^e siècles, utilisaient le pendule simple, conforme au dispositif de la théorie élémentaire ; une masse ponctuelle pesante suspendue à l'extrémité d'un fil inextensible oscillait suivant la période

$$T = 2 \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

c'est encore à un dispositif de ce genre que s'apparentait le pendule de Borda. Mais le pendule simple est une création de l'esprit. Le pendule réel, quelle

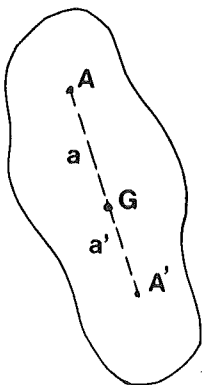


Fig. 47

que soit sa structure est un corps solide oscillant sous l'action de la pesanteur autour d'un axe A situé à la distance a du centre G des masses. En pareil cas, on démontre que la période d'oscillation est égale à

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I(A)}{Mga}}$$

où $I(A)$ est le moment d'inertie par rapport à l'axe A, a la distance inconnue AG, M la masse totale (fig. 47).

Par un théorème de Huygens on a : $I(A) = I(G) + Ma^2$ d'où

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I(G)}{Ma + \frac{I(G)}{a}}}$$

Or $I(G)$ est une constante du pendule, $\frac{I(G)}{Ma}$ est égal à une longueur a' , et la nouvelle expression de la période montre que le pendule ainsi constitué a même période qu'un pendule simple de longueur $(a + a')$.

La relation $I(G)/Ma = a'$ donne $aa' = I(G)/M$ avec $a = I(G)/Ma'$, et si on faisait osciller le pendule autour de A' (inconnu) on aurait encore même période

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I(G)}{g(a + a')}}}$$

Par conséquent, si on peut associer à l'aide d'oscillation A un "centre d'oscillation" A' , tel que les deux périodes d'oscillation respectivement autour de A et A' soient identiques, la longueur du pendule simple synchrone est égale $(a + a')$ et on la mesure, puisque par l'expérience on connaît, sur le pendule, les positions A et A' .

L'idée théorique de ce dispositif revient à de Prony (CRADS Octobre 1800) qui du reste ne l'exploita pas.

Elle fut mise en œuvre par Kater en Angleterre (1818), puis par Bessel à Berlin, par Repsold, en France par le commandant Defforges, du Service géographique de l'Armée.

Les expériences sont extrêmement délicates : la précision de $1/n$ sur g exige que la longueur $(a + a')$ et la période, soient mesurées à au moins $1/n$ près.

Les corrections aux résultats bruts sont innombrables et parfois très incertaines.

A l'époque on ne pouvait obtenir mieux que de quelques unités de la 5^e décimale (10^{-5} sur les mesures de temps et de longueur).

Les travaux de Defforges sont exposés dans (30, 15). Les résultats des mesures absolues sont décevants comme le montre le tableau ci-dessous qui les compare aux valeurs du réseau mondial de 1971.

Lieu	Defforges	IGSN 71	
Paris Obs.	9.80999	9.80928	- 71
Breteil	9.80998	9.80926	- 72
Marseille	9.80540	9.80474	- 66
Alger	9.79961	9.79891	- 70

L'identité des lieux d'expérience n'est qu'approximative mais suffit pour la comparaison.

En outre, selon Helmert une correction de -0.00030 oubliée par Defforges doit être apportée à ses résultats, mais on est encore loin du compte.

Mesures relatives - Systèmes de Vienne et de Potsdam : dans les mesures relatives dont nous avons déjà parlé, la valeur de la pesanteur s'obtient en faisant osciller un **même** pendule à la station connue A et à la station à déterminer B ; la valeur de g en B est donné par

$$g(B) = g(A) \frac{T(A)^2}{T(B)^2}, \quad T(A), T(B)$$

étant les périodes de ce même pendule en A et B. L'expérience est beaucoup plus simple, et se réduit à la mesure des périodes ; elle est beaucoup plus précise, comme le montre l'erreur systématique assez régulière entre les valeurs de Defforges en 1894 et celles du réseau 1971. Les géodésiens exécutaient de nombreuses liaisons relatives entre stations absolues nationales, elles mirent en évidence les discordances des mesures absolues, en même temps que la cohérence des mesures relatives. L'Association géodésique Internationale décida en conséquence de constituer un système homogène de valeurs de pesanteur, obtenu par mesures relatives entre différentes stations nationales et une station absolue, considérée comme référence. A la conférence internationale de Paris (1900) elle décidait de choisir comme origine la station fondamentale de Vienne... $g = 980.876$ (Institut Géographique Militaire).

Des appareils de mesures relatives de plus en plus perfectionnés furent mis au point, appareil de Sterneck, de Kolschutter, de Stuckrath...

Le système de Vienne fut remplacé en 1909 par le système de Potsdam, basé sur une mesure très soignée exécutée de 1898 à 1905 par Kühnen et Fartwangler par le pendule réversible.

La valeur de base était $g = 981.274$ CGS ± 0.003 .

Ce système différerait de -16 milligals (-0.016 CGS) du système de Vienne. Il restera en vigueur jusqu'en 1971, lorsque de nouvelles mesures absolues, toutes concordantes, basées sur le principe de la chute des corps, auront montré que la valeur de Potsdam devait être elle-même diminuée de 14 milligals : (-0.014 CGS).

En France l'activité des mesures gravimétriques après Defforges sera très réduite et ne reprendra que beaucoup plus tard.

Marées de l'écorce terrestre : on sait que le phénomène des marées océaniques est dû à l'action combinée des attractions lunaire et solaire sur l'eau des mers. Il est extrêmement complexe : à l'attraction luni-solaire viennent s'ajouter des phénomènes hydrodynamiques de résonance, d'oscillations forcées, de bélier hydraulique, des actions météorologiques qui le rendent inextricable. Laplace établit le premier une théorie de la marée dite statique, qui ne considère que les actions attractives, sur une terre recouverte d'une couche liquide. Nous la rappelons succinctement.

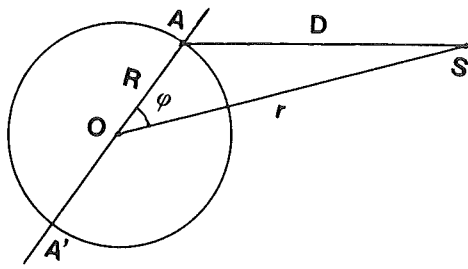


Fig. 48

Au point A de la surface terrestre, une molécule liquide est soumise à l'attraction terrestre et à l'attraction de l'astre perturbateur S.

Le théorème de composition des accélérations, appliqué au point A, nous enseigne que $\overline{Gr} = \overline{Ga} - \overline{Ge}$ en désignant par \overline{Ga} , \overline{Ge} , \overline{Gr} les accélérations, absolue, d'entraînement et relative ; c'est cette dernière que l'on veut calculer.

L'accélération absolue en A est égale à l'attraction de la terre plus l'attraction de l'astre perturbateur S.

L'accélération d'entraînement est exercée par S sur le point O.

On démontre alors que l'accélérateur \overline{Gr} dépend d'un potentiel V dont la partie centrale est le potentiel terrestre GM/r auquel s'ajoute un potentiel perturbateur W. Le terme principal de ce potentiel est de la forme

$$W = Gm \frac{R^2}{2r^3} (3 \cos^2 \varphi - 1)$$

où m est la masse de l'astre perturbateur situé à la distance r' du centre et R est le rayon terrestre. C'est le potentiel W qui définit la forme du bourrelet liquide, dont la hauteur par rapport à la terre en un point donné est $N = W/g$. W est par l'intermédiaire de l'angle φ et de la distance r' une fonction périodique ; on remarquera que la hauteur N est la même en A et en A', son antipode (terme en \cos^2). Finalement le potentiel perturbateur prend l'allure $W = W_0 + W_1 \cos H + W_2 \cos 2H$ H étant l'heure sidérale locale. Ce potentiel se décompose donc en une somme de termes périodiques, les ondes de marées, dont les périodes sont résumées ci-après :

- 1° jour sidéral, demi-jour sidéral (composantes de l'angle H).
- 2° Lune : 1/2 jour lunaire, jour lunaire, demi-mois lunaire, mois lunaire révolution des nœuds (18 ans 2/3).
- 3° Soleil : 1/2 jour solaire, jour solaire, demi-année, année.

Le calcul de l'amplitude N donne des résultats de l'ordre de quelques décimètres - décevants pour la marée océanique pour les raisons énoncées plus haut.

La Terre solide est elle-même soumise aux forces de marée. Si elle était absolument rigide, elle serait sans réaction, mais si elle a une certaine élasticité globale — comme une grosse boule d'acier — elle subira des déformations élastiques proportion-

nelles aux actions perturbatrices théoriques, non déformées par les phénomènes d'hydrodynamique : on peut donc adopter la marée statique comme terme de comparaison. Dans ces conditions, on peut s'attendre à observer deux effets :

- 1) une marée clinométrique, variation locale de la verticale.
- 2) une marée gravimétrique, variation locale de la pesanteur.

Ceci se traduit par deux coefficients :

- 1) un coefficient γ facteur de réduction clinométrique, la verticale du solide étant moins déviée que la verticale théorique.
- 2) un coefficient δ facteur d'amplitude gravimétrique, supérieur à 1 somme de l'effet de marée proprement dit, et de la variation de potentiel dû à la déformation.

Ces facteurs sont très petits, il s'agit de mettre en évidence des variations de verticale de l'ordre de 25×10^{-8} radian et de 0.25×10^{-6} de la pesanteur

Méthodes de mesure : pour mesurer le facteur γ on a utilisé deux méthodes :

- 1) une méthode hydrostatique : un grand niveau d'eau de plusieurs centaines de mètres de longueur est enterré de manière à maintenir sa température uniforme : sous l'effet de la marée, l'eau se met en équilibre comme fluide parfait, par contre, le tube, assujéti au corps terrestre, ne subit que la marée de l'écorce. Il doit donc y avoir basculement du niveau de l'eau en fonction de la marée, et cette variation de niveau peut se déceler par une méthode interférométrique par exemple (Michelson).

On a également utilisé les variations concomitantes de niveau sur les berges de certains grands lacs, sur les ondes de quinzaines ou mensuelles pour éliminer les résonances (courte période).

- 2) le pendule horizontal : le schéma de principe est le suivant (fig. 49).

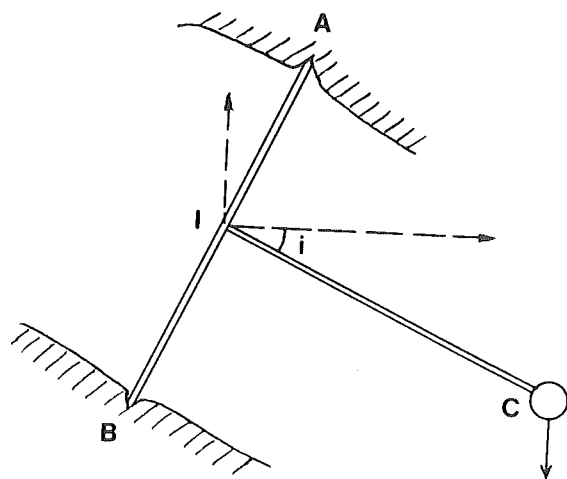


Fig. 49

Un pendule rigide AB, C est d'une part librement mobile en A et B autour d'un axe quasi vertical. Le bras fait avec l'horizontale un petit angle i , et le dispositif se met en équilibre dans le plan vertical défini par l'axe AB et la verticale de I : c'est dans ce plan

que se trouve le centre de gravité G du pendule, voisin de l'extrémité C. Donc si la verticale change par rapport à AB ou si, malheureusement, la direction AB change par rapport à la verticale, il en résulte un déplacement très amplifié de l'extrémité du pendule.

Les dispositifs pratiques sont très différents mais se ramènent à ce principe, imaginé par Hengler (1832). Perrot donne en 1862 (CRADS - T56) la description d'un pendule horizontal à suspension bifilaire, idée reprise par Zöllner vers 1870 et qui a fait fortune de nos jours.

Ces expériences sont infiniment délicates : le pendule horizontal est perturbé par les séismes et par effet thermique, car le sol subit des mouvements thermiques diurnes dont l'amplitude est de l'ordre de 10 fois les quantités à mesurer. On ne peut donc utiliser les résultats qu'après un filtrage rigoureux.

D'importantes séries de mesures furent exécutées, à Potsdam de 1902 à 1909 par Hecker et en France par Eblé (1912-1917), (1920-1923). Elles donnèrent pour le facteur γ des valeurs voisines de 0.65, 0.70.

Les variations de pesanteur furent encore beaucoup plus difficiles à mettre en évidence ; il fallut que l'on sache construire des gravimètres suffisamment sensibles pour que la marée gravimétrique soit décelable et devienne une gêne pour la précision des résultats de la prospection. Divers appareils avaient été imaginés dans ce but par les physiciens en France, précisément par Perrot qui propose en 1862 (CRADS - T56) un gravimètre à ressort hélicoïdal (dont le principe sera repris par Hoyt (Gulf gravimeter) - vers 1950), et par Mascart (CRADS - T116) qui préconise un gravimètre barométrique mais il faudra attendre longtemps avant que les premiers résultats convaincants soient obtenus.

La théorie des marées terrestres fut abordée par Lord Kelvin en 1863, mais c'est en 1909 que l'Anglais Love en posa les bases classiques, en

adoptant comme modèle une terre sphérique élastique.

La variation des latitudes : par suite du perfectionnement des instruments de mesure, de l'amélioration des méthodes d'observation, des catalogues d'étoiles, des tables de la réfraction, etc... il est normal que la valeur admise pour la latitude d'un observatoire se précise dans le temps et que la dispersion des mesures en diminuant permette de mieux cerner la zone d'indécision de la valeur adoptée. Vers les années 1850-1860, les mesures de latitude atteignaient une précision apparente de l'ordre de 0''2 et tous les grands observateurs (Greenwich, Paris, Berlin, Poulkovo, Rome, Washington, etc) étudiaient les résidus d'observations pour y déceler des écarts systématiques. Au point de vue expérimental, le problème n'est pas simple.

Gaillot, étudiant les valeurs successives de la latitude du centre du cercle de Gambey, à l'Observatoire de Paris (CRADS 1878) cite les valeurs suivantes, résultant des observations de 10 astronomes différents :

Les moyennes par observateur varient entre 11'',44 et 12'',27, la dispersion des observations s'étend de 48°50'08'',63 à 48°50'14'',28. Il met en évidence un phénomène saisonnier certain, les écarts à la moyenne résultant des 6 années d'observation étant résumés dans le tableau ci-dessous.

Année	Nombre de mesures	L = 48°50'
1856	286	11'',89
1857	224	11'',53
1858	181	11'',89
1859	158	11'',73
1860	103	12'',16
1861	125	11'',64
Moyenne : 48°50'11'',80		

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
-0.23	-0.06	-0.03	+0.10	+0.16	+0.25	+0.25	+0.16	+0.13	-0.07	-0.11	-0.27

Doit-on, dit-il, l'attribuer à une oscillation annuelle de la verticale ? Ce n'est certainement pas impossible, mais peut s'expliquer par de légers changements dépendant de la température dans les coefficients de la réfraction et de la flexion, et conclue en disant qu'à "l'Observatoire de Paris, les déviations continues, périodiques ou accidentelles de la verticale, si elles ne sont pas nulles, restent comprises dans des limites où l'observation est impuissante à les constater".

Ces recherches visaient en fait à mettre en évidence un mouvement théorique prévu par Euler en 1765. On peut déduire en effet d'équations qu'il avait établies que si on assimile la terre à un ellipsoïde de révolution en rotation autour d'un axe, on doit observer que par rapport aux repères stellaires, la direction du pôle de rotation reste pratique-

ment fixe, mais que l'axe polaire ne perce pas la surface terrestre en un point fixe, mais doit y décrire un petit cercle de très faible rayon angulaire, en 305 jours (l'analogie avec la constante de la précession n'est pas fortuite). Les latitudes des observations et leur longitudes doivent donc subir des variations périodiques de très petite amplitude qu'il s'agissait de mettre en évidence.

En 1883, l'Association géodésique internationale recommandait aux astronomes d'établir un programme d'observations concertées et en 1884 Küstner annonçait l'existence d'une variation annuelle. L'expérience cruciale sera faite en 1891-1892 : un programme d'observations très soignées fut élaboré et mis en œuvre simultanément aux observatoires de Berlin et d'Honolulu dont les longitudes diffèrent environ de 180° : on devait

donc constater qu'à la même époque les latitudes des deux observatoires dérivait en sens inverse, l'une augmentant quand l'autre diminuait et vice-versa. L'expérience fut décisive, l'Association géodésique internationale décidait en conséquence de créer un Service International des Latitudes chargé de suivre et de définir le mouvement du pôle sur

la surface terrestre. Cinq observatoires situés sur le même parallèle ($39^{\circ}8'$), Carloforte (Italie), Kitab (URSS), Mizuzawa (Japon), Ukiah, Gaithersburg (USA), munis d'instruments aussi identiques que possible, observant par la même méthode, les mêmes étoiles observaient en permanence la latitude locale pour en déduire la "polhodie".

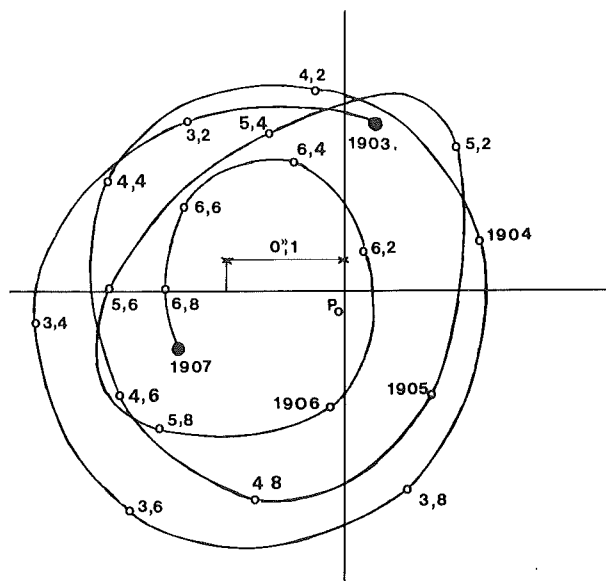


Fig. 50

La figure 50 représente la polhodie observée par le Service International des Latitudes entre 1903 et 1907, d'après les données publiées par l'annuaire du Bureau des Longitudes (année 1974). L'origine P_0 est une origine conventionnelle des coordonnées x, y exprimées en dixième de seconde sexagésimale, ($1'' = 30$ m à la surface de la terre). On voit qu'elle est contenue dans un "cercle" de $0'',2$ de rayon.

Une analyse harmonique a permis de reconnaître dans la courbe, deux composantes principales :

- une composante annuelle liée très certainement aux variations climatiques,

- une composante ayant une période de 1, 2 années dite période de Chandler — qui n'est autre que la période prévue par Euler — mais dont la durée est portée à cette valeur par l'élasticité glo-

bale de la terre, que l'on peut ainsi calculer et recouper, comme le montra Newcomb, avec les données d'observation des marées terrestres.

Ces résultats sont un des plus brillants témoignages des succès qu'engendre la collaboration scientifique internationale.

La guerre de 1914-1918 interrompt de manière tragique cette collaboration, les états membres de l'Association géodésique internationale étant pour la plupart dans les deux camps belligérants.

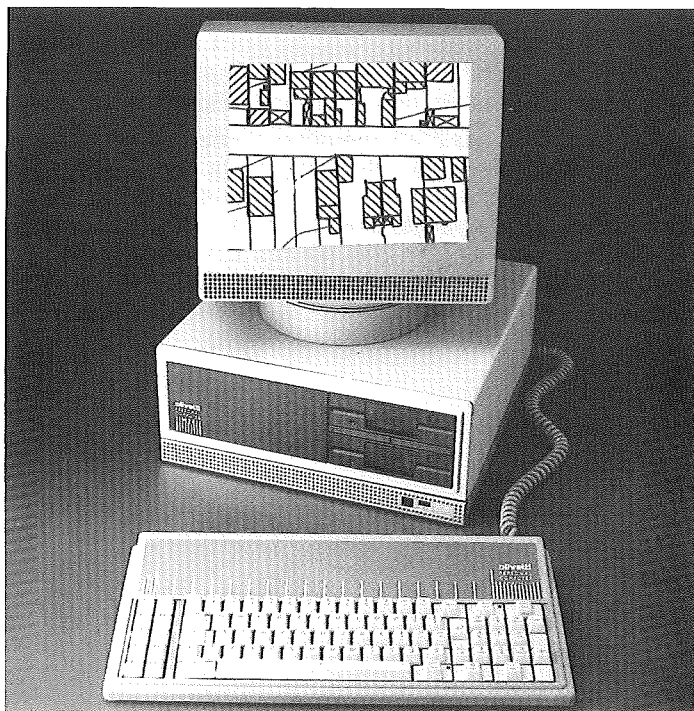
Mais grâce aux états membres demeurés neutres (Danemark, Espagne, Norvège, Pays-Bas, Suède, Suisse) l'Association géodésique réduite entre états neutres put sauver et faire assurer le travail essentiel du Service International des Latitudes, et le transmettre intact à l'Union Géodésique et Géophysique Internationale (UGGI) qui succéda à l'Association.

PLAN TOPOGRAPHIQUE

LOGICIEL DE TOPOGRAPHIE ASSISTEE PAR ORDINATEUR

pour tous les
MICRO-ORDINATEURS COMPATIBLES IBM

CHOISISSEZ VOTRE ORDINATEUR (1)
NOS LOGICIELS S'Y ADAPTENT



(1) Ordinateurs
compatibles

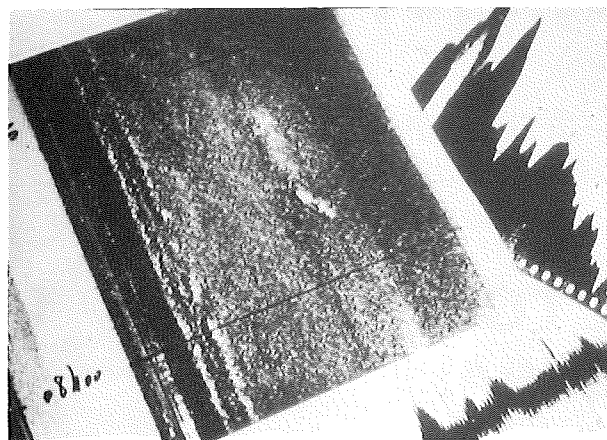
IBM
BULL
NANG
TANDY
ADD-I
SANYO
CANON
TEXAS
SYNAG
GOUPI
ZENITH
VICTOR
NELECT
COMPAQ
KAYPRO
THOMSON
TOSHIBA
LEONARD
DESKPRO
LOGABAX
OLIVETTI
NORMEREL
ERICSSON
COMMODORE
HEWLETT-PACKARD
NORTHERN TELECOM
et les autres

Bathymétrie : Topographie des mers et des rivières

par Jean BOURGOIN,
Directeur du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine

Le 11^e Colloque de l'AFT, qui s'est tenu à Brest les 31 mai et 1^{er} juin 1985, avait pour thème la bathymétrie des mers et des rivières. La manifestation, très réussie, a réuni une centaine de personnes à l'Hôtel Continental. Outre les communications sur lesquelles nous allons revenir, les participants ont pu profiter d'une visite technique de l'Etablissement Principal du Service Hydrologique et Océanographique de la Marine (EPSHOM) ainsi que d'une démonstration sur le plan d'eau du Port de plaisance de Brest et d'une exposition rassemblant une dizaine de constructeurs de matériels de positionnement et de sondage.

L'exposé général sur la bathymétrie de **M. Cailliau** a mis en valeur l'ampleur géographique des problèmes posés, la montée des technologies nouvelles (satellite, laser, etc.), et l'approche géopolitique avec l'évolution rapide des besoins en relation avec celle du droit de la mer.



Une épave vue au sondeur latéral et au sondeur vertical.

L'activité du SHOM a été présentée d'abord par un bref exposé de **M. Schrupf** sur les missions hydrographiques chargées d'assurer les levés puis par la visite de l'EPSHOM. On a pu noter l'étendue des zones auxquelles le SHOM s'intéresse, le rôle que joue ce service en amont de toutes les formes d'exploitation des océans, et le besoin hydrographique dans le contexte international. Les contraintes administratives face aux exigences du service public (besoins spécifiques de la plaisance) ont été évoquées ainsi que la spécialisation du Service en environnement marin (océanographie physique et particulièrement acoustique sous-marine). On a pu apercevoir également le rôle important de la formation et de la formation continue dans des domaines en pleine évolution.

La communication de **M. Paul** était consacrée aux systèmes de localisation à courte portée et à la bathymétrie en relation avec les aménagements portuaires. Elle a abordé de façon concrète de nombreux sujets qui ont

soulevé un vif intérêt de l'assistance : les techniques de localisation (portée, précision, automatisation, redondance, brouillage) et leurs applications (sondages devant les quais, contrôle de zones déroctées, affouillement des piles de pont, envasement des bassins), les aménagements et la sécurité de la navigation dans les chenaux, la connaissance des mécanismes hydrauliques et sédimentaires (crues, coin salé, bouchon vaseux), la préparation et le suivi des travaux neufs et d'entretien.

Avec la communication de **M. Delbard**, concernant l'aménagement des rivières, l'intérêt s'est déplacé vers l'intérieur des terres. Compte tenu de l'utilisation des rivières comme lieu de loisirs l'accent a été mis sur la bonne gestion de l'environnement. Les aspects touchant au génie civil, à la réglementation et aux limites de compétence des topographes n'ont pas été négligés.

En l'absence de **M. Lapierre**, **M. Bailly** s'est chargé de traiter le sujet délicat de la bathymétrie à grande profondeur en vue des forages. L'absence de l'auteur de la communication n'a pas permis de donner à la discussion le développement que méritait l'exposé.

Enfin **M. Riou** a développé le thème du positionnement au large dans le cas de l'industrie pétrolière en passant en revue les principaux systèmes.

M. Gaudillère n'a malheureusement pas pu faire l'exposé prévu sur la reconnaissance bathymétrique à courte portée.

M. Augustin et **M. Berne** de l'IFREMER ont décrit les développements intervenus en matière de sonar latéral.

Ils ont montré l'intérêt de cette technique pour la reconnaissance morphologique détaillée des zones côtières.

Un logiciel dénommé "TRIAS" est en cours de développement à l'IFREMER de Brest pour le traitement à terre de ce type d'image.

De ce premier colloque voué spécifiquement à la bathymétrie, on peut dégager quelques réflexions :

- Trois composantes se partagent la topographie des mers et des océans.

- les organismes étatiques ou para-étatiques, qui ont des responsabilités de service public, sont préoccupés par les levés de base, ont des programmes à long terme, investissent dans la recherche et le développement, et sont souvent reliés à des organisations internationales ;

- les organismes privés, qui s'adaptent rapidement aux besoins du moment, traitent d'objectifs plus spécifiques, s'appuient sur le savoir-faire des services officiels et sont stimulés par la concurrence internationale ;

- les constructeurs dont le nombre et la qualité ont frappé l'assistance et qui entretiennent un dialogue à profit partagé avec les deux composantes ci-dessus en matière d'évaluation et d'amélioration des équipements et des systèmes.

• Malgré la troisième position mondiale occupée par la France, selon le droit de la mer, le savoir-faire national doit être valorisé sur la scène internationale. La signalisation maritime et l'hydrographie sont des thèmes complémentaires fondamentaux pour la mise en valeur des façades maritimes du monde entier. Tout en préservant le savoir-faire de chaque partenaire, l'effort national français exige concertation et solidarité lorsqu'il s'agit d'exporter.

• La qualité de la formation dans un domaine en évolution rapide est une clef du succès. L'hydrographe, ingénieur de mesure à la mer, est prédisposé à devenir un

"environnement". Au prix d'un effort il peut aller au-delà de son domaine habituel en développant ses connaissances dans les disciplines professionnelles de base (géodésie, hydrodynamique, etc.).

• La mer et l'espace sont deux créneaux complémentaires avec une large surface de recouvrement et dans lesquels la France fait bonne figure.

L'intérêt des thèmes abordés au cours de ce colloque et la parfaite ambiance dont il laissera le souvenir sont la preuve que le "domaine mouillé" a tout à fait sa place au sein de l'AFT.

DATES DE PARUTION DES CONFERENCES

Bathymétrie : topographie des mers et des rivières,
par M. Jean BOURGOIN, XYZ n° 26

Exposé général sur la bathymétrie, par M. E. CAILLIAU,
XYZ n° 26

Système de localisation à courte portée et bathymétrie
en relation avec les aménagements portuaires,
par M. PAUL, XYZ n° 28

Aménagement des rivières, par M. DELBARD, XYZ n° 25

Bathymétrie à grande profondeur en vue des forages,
par MM. LAPIERRE et BAILLY, XYZ n° 26

Positionnement au large dans le cas de l'industrie
pétrolière, par M. RIOU, XYZ n° 28

Reconnaissance bathymétrique à courte portée,
par M. Ph. GAUDILLERE, XYZ n° 26

Développements autour du sonar latéral pour la reconnaissance morphologique détaillée des zones côtières,
par MM. J.-M. AUGUSTIN et S. BERNE, XYZ n° 26

RENCONTRE A.F.T. 1986

- *EXPOSITION MATERIEL MODERNE*
- *CONFERENCES : UTILISATION DES SATELLITES
EN CARTOGRAPHIE ET TOPOGRAPHIE "AUJOURD'HUI
ET DEMAIN"*

**MERCREDI 29 OCTOBRE 1986
CACHAN (94)**

Déjeuner sur place

COLLOQUE LOCALISATION EN MER

28 septembre au 2 octobre 1987

I.F.P. — RUEIL (92)

Propos sur la bathymétrie

par Etienne CAILLIAU,
Ingénieur du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine

Résumé

L'auteur présente le vaste domaine que constitue la bathymétrie, avec ses aspects scientifiques et techniques, mais aussi économiques, juridiques et même politiques. La définition du fond marin, le calcul des profondeurs acoustiques, l'analyse de la marée, le transfert des résultats présentent parfois des problèmes délicats. L'échelle de levé doit tenir compte du coût des opérations en même temps que des objectifs poursuivis, mais les hydrographes n'ont pas le droit à l'erreur. On doit distinguer à ce sujet les notions d'hydrographie totale, d'hydrographie probabiliste et d'hydrographie partielle. Les pays en voie de développement sont appelés à intervenir de plus en plus dans l'activité bathymétrique.

Propos sur la bathymétrie

Les quelques propos qui suivent se veulent une introduction au 11^e Colloque Technique de l'Association Française de Topographie (Brest, 31 mai-1^{er} juin 1985) dont le sujet est "La Bathymétrie".

Tout au long de ces quatre demi-journées, plusieurs exposés auront abordé de manière plus précise, plus scientifique, plus technique, les divers aspects de la bathymétrie. Il est d'autre part nécessaire de relever plusieurs contributions récentes et excellentes qui relatent les méthodes modernes de la bathymétrie et ses potentialités scientifiques et technologiques. Citons notamment le remarquable exposé sur "L'hydrographie et la bathymétrie" que fit Michel Le Gouic au cours du 1^{er} Congrès International de l'Association Française de Topographie en décembre 1984 à Paris.

Il n'est évidemment pas question de reprendre ici ces éléments mais, les fixant comme base de départ, de proposer pour le moment une approche diversifiée de la question dont la problématique n'est pas seulement technique et scientifique mais aussi économique, juridique et même politique. Voici donc très librement quelques

réflexions — certes pas exhaustives — sur la bathymétrie. Bathymétrie que nous pourrions définir comme la topographie des fonds, ceux des mers et des océans, mais aussi ceux des estuaires, des fleuves et des lacs.

Au domaine des aveugles

Pour tous ceux qui se préoccupent de connaissance bathymétrique, de manière essentielle comme les topographes marins ou les hydrographes, ou d'une façon plus occasionnelle comme les océanographes, les géophysiciens ou les géologues par exemple, le problème technique de la bathymétrie est toujours celui de **connaître l'enveloppe d'un milieu**.

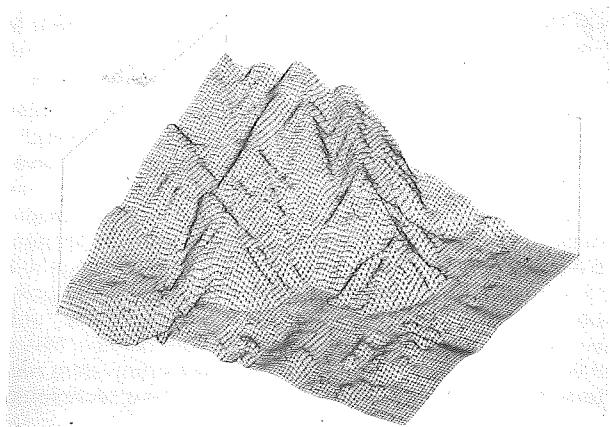
Le **milieu** est ce qui, à la surface du globe, est couvert d'eau. La difficulté essentielle est que la couche liquide, qui n'est parfois qu'une très fine pellicule si l'on considère les dimensions relatives, est quasi opaque à la plupart des rayonnements.

L'**enveloppe** sera l'interface, la frontière entre solide et liquide. Cette définition élémentaire cache en fait de délicats problèmes. On peut donner du fond une définition géophysique à partir de l'analyse du champ des vitesses de propagation des ondes sismiques mais aussi une définition "physique" : que "verrions-nous" si la mer se retirait ? Quant aux marins, et donc aux hydrographes, ils ont une toute autre conception, qui compare la solidité de la coque et la dureté du fond. Simplifions en disant qu'il nous faut connaître le champ de la valeur aléatoire Z , fonction de la position X, Y .

Mais le mot **connaître** masque une multitude de questions. Que connaître, comment connaître, pourquoi connaître ? Pour Z , il s'agira d'évaluer, de mesurer, de minimiser ou encore d'intégrer. Pour $iso Z$, on pourra mesurer ou calculer ou modéliser. Quant aux anomalies ΔZ , il faudra les identifier, les mesurer, les calculer.

L'acquisition de la connaissance passe donc toujours par des **mesures** avec toute leur problématique. Remarquons d'abord que les questions de détermination des positions et de plan horizontal de référence sont fondamentales. Au-delà, il s'agira du Z lui-même. Dans ce milieu liquide énergétiquement mou, on essayera le coup d'épingle, le coup de couteau, le coup de projecteur pour une connaissance en une, deux ou trois dimensions. Mais précisons bien qu'aujourd'hui, et demain sans doute encore, cette dernière ambition de la mesure globale, "surfactive", est restreinte à quelques zones de très petits fonds ou, pour les plus grandes profondeurs, à des étendues très limitées. Il faudra donc analyser les réponses partielles de l'interface, échantillonner, intégrer, interpoler. Il faudra aussi corriger les erreurs, les perturbations, les biais. Et ceci en gardant soigneusement à l'esprit la finalité de la mesure. Nous reviendrons plus loin sur cet aspect essentiel de la bathymétrie.

La panoplie des **méthodes** et de la **technologie** pour effectuer ces mesures est très vaste. Il s'agira toujours de faire répondre l'interface à une stimulation énergétique préexistante, l'éclairage solaire par exemple pour les



Une restitution modélisée en 3 dimensions qui ne doit pas faire illusion.

très petits fonds, ou provoquée par une action mécanique, acoustique, optique ou autre. La description de ces méthodes et systèmes n'est pas dans l'objectif de ces propos. Mais disons néanmoins que les progrès sont sensibles et ouvrent de nouveaux horizons, des espoirs, mais aussi de contraintes, celle des coûts n'étant évidemment pas la moins importante.

Qui veut connaître un milieu doit s'en rapprocher. En bathymétrie, on constate actuellement tout à la fois une confirmation et une infirmation de ce postulat. Il est vrai que par grands fonds la connaissance fine de la bathymorphologie ne pourra être acquise que par l'envoi, presque au contact, des **vecteurs porte-détecteurs**. D'où la mise en action de plongeurs, d'engins sous-marins habités ou télécommandés. Mais on assiste en même temps à un rapide développement des systèmes de télé-détection. Prendre du recul pour mieux observer ce milieu, pourtant quasi opaque, mais que l'on essaiera de percer par une émission d'énergies toujours plus fortes, notamment à l'aide de lasers, voici une autre "approche" très prometteuse même si elle ne peut évidemment pas constituer une solution universelle.

L'analyse du problème technique serait très incomplète si on ne disait pas un mot de la nécessaire transmission de la connaissance. Il ne s'agit pas de savoir pour savoir mais de savoir pour faire savoir, de **connaître pour faire connaître**. Derrière ces quelques mots, c'est toute la question des transferts de données numériques entre fichiers, entre partenaires français, européens et internationaux qui est posée. Mais c'est aussi et surtout tous les problèmes de la représentation des données bathymétriques avec, en premier lieu, ceux de la carte.

En conclusion de cette première approche technique de la bathymétrie, je dirais que l'évidente accélération technologique permet d'espérer un rapide progrès pour une vision surfacique. Mais faut-il pour autant parler d'innovation-rupture où satellites, lasers, sondeurs multi-

faisceaux renverraient au musée les systèmes "classiques" ? Je pense qu'il n'en est rien et que, pour très longtemps, le milieu liquide restera encore bien obscur, nous condamnant à une bathymétrie faite de tâtonnements au royaume des aveugles.

Un zéro sur l'axe vertical

L'étude et la prise en compte des mouvements verticaux de l'interface eau-atmosphère constituent une partie spécifique de l'hydrographie et de la bathymétrie par rapport à la topographie. Ces variations de la référence verticale, du plan d'eau local, de l'ordre de plusieurs mètres lorsqu'il s'agit de marée, par définition d'origine purement astronomique, peuvent accidentellement atteindre plusieurs dizaines de mètres. Flux et reflux donnent leur charme aux plages de l'océan et font l'affaire des ramasseurs de coquillage. Mais ces mouvements, réguliers ou capricieux, compliquent fort la tâche des navigateurs, des constructeurs d'ouvrages littoraux, des topographes marins. Ils peuvent être aussi à l'origine de catastrophes naturelles de grande ampleur. Souvenons-nous de la Hollande en 1928 et 1953, du Bangladesh hier encore.

L'analyse et la prédiction d'un aussi formidable phénomène est, parmi d'autres, l'un des plus importants aspects scientifiques de la bathymétrie. Des savants éminents lui ont consacré hier et lui consacrent encore aujourd'hui une part importante de leurs travaux. Il s'agit en fait d'un domaine remarquable pour ce qui est de la complémentarité que l'on y trouve entre les efforts de la recherche fondamentale, de la recherche appliquée, des techniques de l'ingénieur.

Théoriciens et techniciens ont encore de beaux jours devant eux pour affirmer la connaissance de ce phénomène qui intrigua tant les anciens Grecs lorsqu'ils s'aventurèrent au-delà des Colonnes d'Hercule. Et aussi pour aider à en maîtriser tous les effets heureux ou malheureux. Les topographes auront toujours, eux, à "réduire" leurs sondages de cet appoint variable et insaisissable au-dessus d'une surface irréaliste que l'on appelle zéro des cartes marines.

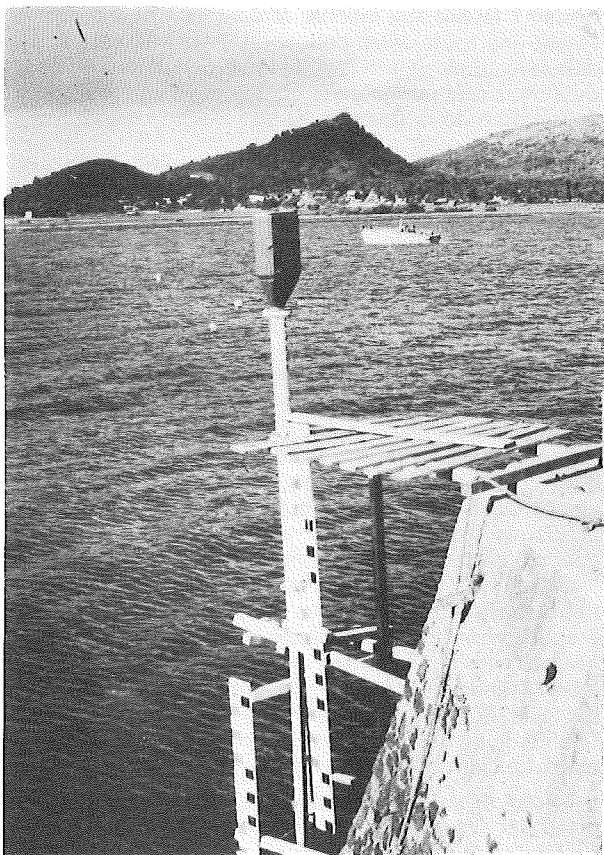
Une question d'échelle

Nous venons de voir — d'affirmer — que la bathymétrie relève et relèvera encore longtemps d'une approche aveugle d'une interface qui tente de se cacher sous les coups d'épingle ou de petits coups de projecteurs acoustiques dont le cône d'interrogation n'intéresse qu'une bien faible partie des profondeurs.

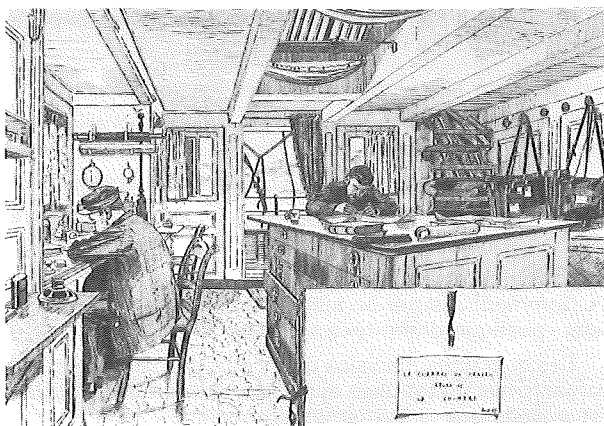
Cette procédure à laquelle nous sommes contraints implique à l'évidence de tenir compte avant tout d'un concept "**d'échelle de levé**". On ne pourra pas, au moins sur une zone appréciable, rechercher simultanément le pâté de corail isolé ou l'épave d'un hélicoptère accidenté et identifier les macrostructures kilométriques.

Le spectre des dimensions horizontales et verticales des structures bathymétriques n'est pas seul à considérer. Il faut aussi faire intervenir les **objectifs de levé**, c'est-à-dire la nature des résultats recherchés, les moyens matériels et financiers ainsi que le temps disponible. L'omnivalence d'un levé — ce terme est préférable à celui de polyvalence — n'était guère envisageable tant que nous ne disposions pas de systèmes de positionnement eux-mêmes omnivalents. Un système "universel" de localisation existera sans doute demain. Néanmoins je crois que le levé bathymétrique omnivalent restera, sauf cas très particuliers, une chimère technique.

Quelques chiffres permettront d'illustrer l'importance du problème de management qui se pose au topographe marin d'aujourd'hui.



Observatoire de marée.



Des hydrographes hier comme aujourd'hui.

- Sur 1 km² de petits fonds :

- on fera 10 km de profils espacés de 100 m, soit 1 heure "efficace" de porte-sondeur, estimée à 12 500 F ;
- on donnera 20 000 "coups de sonde" dont 100 seront relevés sur la minute de sonde, soit un coefficient de contraction de 200 ;
- ce coup de sonde sera fait tous les 0,5 m alors qu'une sonde sera écrite tous les 100 m et donc tous les 1 cm² ;
- chaque coup de sonde coûte 0,6 F ; chaque sonde écrite 125 F.

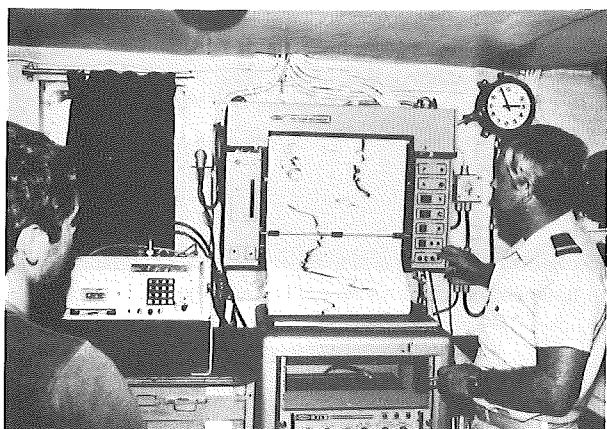
- Sur 1 an d'activité normale de porte-sondeur en bathymétrie côtière :

- on fera 4 000 km de profils, 400 km², 40 km de côte ;
- on dessinera 400 m de profils, 40 000 sondes seront écrites qui représentent 8 millions de sondes mesurées ;
- le coût sera de 5 millions de F, soit 125 000 F/km de côte.

- Il faudra 2 an-porte-sondeur pour mesurer la bathymétrie nécessaire à l'établissement d'une bonne carte marine coûte pour un coût d'un milliard de centimes.

On pourrait certes imaginer que des moyens plus puissants, plus surfaciques, soient utilisés d'autant qu'ils répondront mieux au critère de qualité considéré du point de vue de la probabilité de détection des anomalies. Mais, même quand ils seront parfaitement au point, ces moyens seront-ils disponibles le jour voulu, sur un "chantier" donné, pour un organisme ou une entreprise déterminés ?

Et surtout qu'en sera-t-il du coût de revient au km² ? De toute manière, le problème du levé multi-objectifs se



Scruter sans défaillance.

posera encore. Plus on disposera de systèmes sophistiqués et donc forcément chers, plus il faudra cerner les finalités du travail. Remettre "n" fois le métier sur l'ouvrage, revenir à tous propos sonder la même zone est évidemment anormal, lassant, terriblement dispendieux. Scruter le fond de la mer avec un microscope alors qu'une longue-vue suffirait, enregistrer d'insignifiants microdétails, vouloir tout et tout de suite est tout autant anormal, inutile, cher.

C'est dans la solution de ce paradoxe que réside l'art du topographe marin, aussi bien public que privé, qui doit exercer son jugement d'après son expérience et sa connaissance de l'état de l'art, avec ses qualités d'ingénieur mais aussi de manager.

Le droit à l'erreur

Comme dans toute activité humaine à caractère de service, il se pose en bathymétrie, et plus précisément en hydrographie, un délicat problème déontologique. Un hydrographe n'a normalement pas le "**droit à l'erreur**". Le droit, examiné sur un plan national aussi bien qu'international, la jurisprudence, permettent d'identifier un précepte général qui pourrait se résumer ainsi : un levé bathymétrique hydrographique doit, pour ne pas être "fautif" être mené selon les **règles de l'art** du moment. L'exploitation numérique ou graphique des données recueillies doit par ailleurs respecter la "règle de sécurité" en minimisant systématiquement Z et en n'omettant aucun Δ Z pertinent.

Enfin, l'erreur de calcul ou de dessin n'est pas permise.

Les règles en matière de bathymétrie de type "génie civil" ou "recherche scientifique" sont naturellement moins contraignantes et relèvent a priori plus du droit commercial (qualité industrielle d'un produit) que du droit civil et pénal (sécurité des personnes et des biens). A la lumière de ce qui vient d'être dit à propos des difficultés d'acquiescer une connaissance bathymétrique complète et précise, on peut imaginer combien le problème est délicat même en jouant sur l'expression "règles de l'art".

On peut distinguer trois concepts :

- celui d'**hydrographie totale** correspondant à un critère absolu de connaissance, sans aucune interpolation. Ce concept ne peut, nous l'avons dit, ne s'appliquer qu'à des zones géographiquement limitées dans l'état actuel de la technologie. Une réflexion plus approfondie montrerait rapidement que ce concept est encore en fait très relativiste ;

- celui d'**hydrographie probabiliste** où l'on procède classiquement par échantillonnage sur profils. Ici l'interpolation et l'interprétation sont nécessaires avec le risque d'erreur que cela suppose, surtout si des anomalies bathymétriques sont le résultat de la présence de structures artificielles et donc "anormales" ;

- celui d'**hydrographie partielle** lorsque les normes d'échantillonnage choisies ont été, pour des raisons variées, insuffisantes. Il est alors indispensable d'en avertir clairement l'utilisateur du document-résultat.

Le choix du concept n'est pas libre. Il est manifeste qu'il faudra faire intervenir la notion de rentabilité qui n'est pas seulement économique. A potentiel constant, faut-il mieux lever complètement des zones restreintes ou au contraire lever de manière probabiliste des étendues plus grandes ?

Ici encore la compétence du décideur sera essentielle avec en filigrane la nécessité qu'il fasse preuve de la plus grande rigueur de raisonnement et de la plus absolue conscience professionnelle. Le droit à l'erreur est à ce prix.

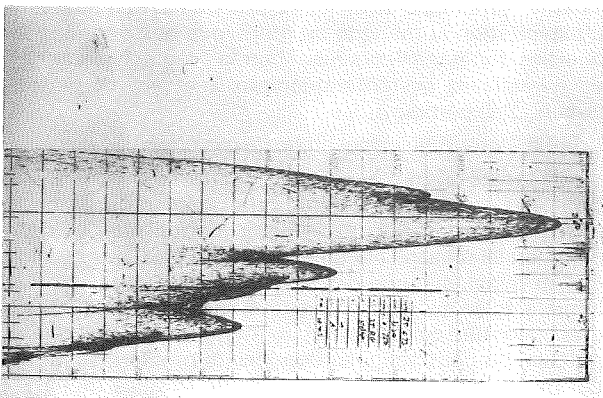
361 millions de km²

À l'inverse du schéma classique, nous avons préféré commencer par l'analyse des techniques et des moyens plutôt que de parler des besoins en bathymétrie. Cette demande se voulait plus concrète et historique, partant d'un état de fait et d'un état de l'art.

Il faut maintenant tenter d'identifier le besoin planétaire en bathymétrie.

Il y a 361 millions de km² de notre planète qui ont une couleur bleue et qui de ce fait donnent une réponse quasi vide à l'interrogation de la caméra ou du faisceau laser. C'est un champ énorme à "bathymétriser", bien sûr plus ou moins complètement, plus ou moins précisément, plus ou moins rapidement mais à "bathymétriser" quand même.

La non-omnivalence du levé, affirmée il y a un instant, la multiplicité des objectifs, ne permettent pas de quantifier l'état de la connaissance bathymétrique de ces 361 millions de km² de mer, de ces 27 millions de km² de plateaux continentaux, de ces 18 millions de km² de fonds potentiellement coralliens, de ces 200 000 km de côtes. Mais nous savons que cette connaissance est très faible, sans doute de l'ordre de 3 % des besoins raisonnables d'aujourd'hui.



La bathymétrie des grands fonds, un objectif désormais économique et politique.

Un autre élément doit être introduit ici. Il s'agit de la nature des juridictions nationales sur une partie de ces 361 millions de km². Qu'on le veuille ou non, la nouvelle Convention sur le Droit de la Mer (1982) institue le principe international de partage des droits d'exploitation sur un tiers de cette surface entre les différents états et par là même une sorte d'appropriation par ces mêmes états de leur zone économique exclusive (ZEE).

À la clef de cette appropriation déguisée, des droits et des devoirs mais aussi une sensibilisation nationale accrue pour connaître le contenu et les potentialités du nouveau domaine, notamment la bathymétrie.

Or 37 % des ZEE relèvent des Pays en Voie de Développement.

En même temps que s'ouvre ainsi un puissant marché international, de multiples questions d'ordre politico-économique se posent désormais. C'est tout le problème des relations Nord-Sud que nous retrouvons ici, avec leurs difficultés, leurs paradoxes mais aussi leurs éléments d'espoir.

Nous ne pouvons ici que citer les principales implications sous forme d'interrogations :

- Comment assurer la nécessaire relève ?
- Comment résoudre le transfert d'une technologie toujours plus coûteuse et plus difficile à mettre en œuvre ?
- Comment réaliser les investissements nécessaires ?
- Comment trouver des moyens disponibles alors que la tâche est déjà écrasante dans les eaux des pays industrialisés ?
- Comment assurer un juste retour économique, financier, politique d'une telle stratégie ?

Ces questions, choisies parmi d'autres, se posent aux organismes d'état mais aussi aux entreprises publiques et privées que la bathymétrie concerne.

Conclusions

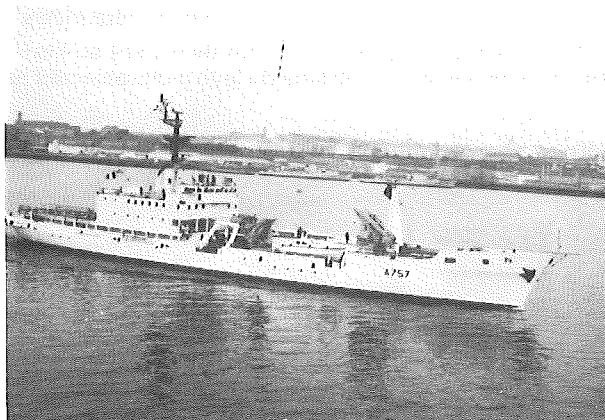
Ces quelques propos se veulent une contribution de caractère général à une réflexion d'aujourd'hui sur la bathymétrie.

Nous pouvons les résumer ainsi :

- En matière de bathymétrie et d'hydrographie, nous sommes à une **époque** qui n'est peut-être pas charnière mais qui est **techniquement prometteuse**.
- L'**omnivalence des levés** est antinomique de la focalisation économique des objectifs.
- Le **droit à l'erreur** bathymétrique, disons la possibilité d'erreur, est une réalité qu'il serait naïf de vouloir ignorer et qui doit être examinée sous tous ses aspects technique, financier, juridique et pourquoi pas moral.
- Il existe un **marché de la bathymétrie et de l'hydrographie** qu'il faut partager de manière réaliste entre les administrations publiques et le secteur privé, tant sur le plan national que sur le plan international.

Enfin le dialogue Nord-Sud existe ici comme dans d'autres domaines : il faut résoudre les contradictions de ce dialogue pour que chacun y trouve sa part.

Ces idées sont forcément très personnelles. Elles sont certainement critiquables, elles doivent être critiquées. La porte est grande ouverte aux réactions et aux commentaires.



Le bâtiment océanographique d'Entrecasteaux.

Reconnaissance bathymétrique des 2 sites de forages profonds en Méditerranée : résultats

par le Docteur F. LAPIERRE, BEICIP

Résumé

Les deux forages français en Méditerranée profonde, réalisés par l'association TOTAL, SNEA (opérateurs) et ESSO-FRANCE ont été implantés par des profondeurs d'eau de 1 714 m (TOTAL) et 1 246 m (SNEA).

Dans le cadre de ce projet, le BEICIP a effectué en mai 1982 la reconnaissance bathymétrique et géophysique des deux sites retenus.

La Compagnie Générale de Géophysique (GGG) associée au BEICIP fournissait le positionnement, l'acquisition et le traitement des données sismiques.

Les opérations se sont déroulées à bord du "NADIR" (GECENAT).

Il convient de souligner que les résultats des levés bathymétriques, vérifiés par la longueur du train de tiges descendu, se sont révélés exacts au mètre près.

Une telle précision — surprenante compte tenu de l'erreur liée à toute mesure physique — peut s'expliquer :

- par l'utilisation d'un écho-sondeur de précision à faisceau étroit,
- par une procédure rigoureuse de calibration sur site (mesures de gradient de température-calibration à la plaque avec câble gradué jusqu'à 950 m),
- par l'utilisation d'un programme de correction de pente du fond en fonction de l'ouverture du faisceau émis, appliqué aux sondes.

De telles études bathymétriques intégrées, mises au point par le BEICIP dès 1976 pour le projet de Gazoduc Algérie-Espagne (profondeurs maxima : 1 850 m ou 2 250 m suivant les tracés reconnus) sont proposées en routine pour toute reconnaissance marine depuis cette date.

I — Introduction et principaux résultats

Dans le cadre du projet français de "Forages profonds en Méditerranée", le BEICIP a effectué pour le Groupe TOTAL (opérateur), ELF et ESSO-FRANCE, la reconnaissance de six sites, par des profondeurs d'eau allant de 700 m à 1 850 m.

Les objectifs étaient d'établir des cartes bathymétriques précises, d'évaluer les risques liés à la géologie tels que poches de gaz, failles et zones de glissement et de déterminer enfin, les caractéristiques géotechniques des sédiments superficiels.

Les sites reconnus se présentent sous la forme de carrés de 4 km de côté. Un total de huit cent quarante kilomètres de profils géophysiques et 21 prélèvements superficiels ont été réalisés lors de 2 campagnes, l'une en mars 1981 (4 sites), l'autre en mai 1982 (2 sites).

Les deux forages français en Méditerranée profonde réalisés au cours de l'hiver 1982-1983 ont été implantés sur ces deux derniers sites par des profondeurs d'eau de 1 714 m (TOTAL) et 1 246 m (SNEA) (fig. 1).

Le BEICIP assurait la conduite des travaux et était responsable de l'interprétation des mesures et du rapport final.

La Compagnie Générale de Géophysique (CGG) associée au BEICIP, fournissait le positionnement (SYLEDIS Longue Distance), l'acquisition et le traitement des données sismiques.

Les opérations se sont déroulées successivement à bord des navires "Capricorne" (CNEXO) et "Nadir" (GENACET).

Les résultats des levés bathymétriques, vérifiés par la longueur du train de tiges descendu sur les 2 sites se sont révélés exacts au mètre près. Une telle précision (meilleure que 0,001) peut s'expliquer par le soin apporté à la mise en œuvre et à la procédure rigoureuse d'établissement des mesures. Ces techniques sont décrites ci-après.

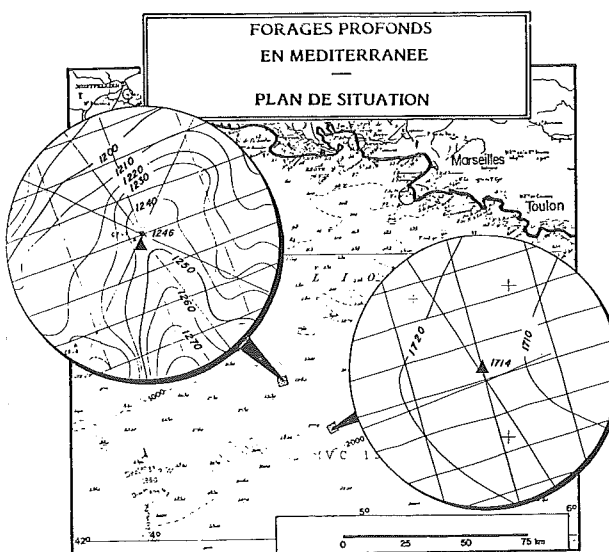
II — Mise en œuvre

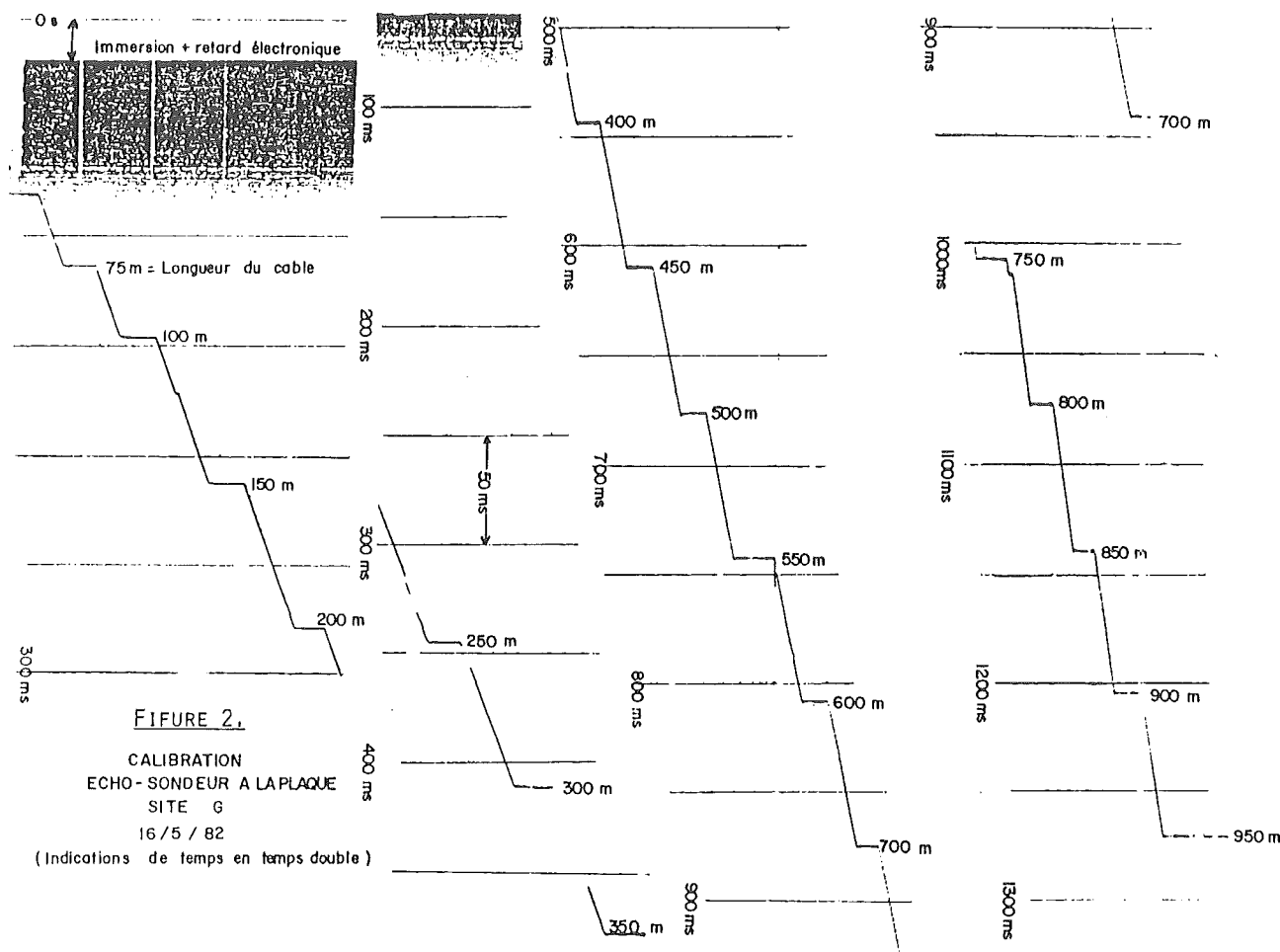
Le lever bathymétrique par grande profondeur nécessite :

- un matériel adapté, permettant d'enregistrer les meilleures données brutes du fond de la mer,
- une procédure rigoureuse de calibration sur site basée sur la connaissance physico-chimique de la tranche d'eau,
- une interprétation et un traitement ultérieur des données largement informatisés tenant compte à la fois de la géométrie du faisceau écho-sondeur et de la topographie du fond.

2.1. La chaîne d'acquisition des données

L'ensemble écho-sondeur comprenait :





- un **transducteur** Raytheon 5096 C à faisceau étroit avec 6°30 d'ouverture à - 3 db d'atténuation et de fréquence nominale 28 khz,
- un **émetteur-récepteur** Raytheon PTR 105 B d'une puissance de 2 kwatts. La cadence et la longueur d'impulsion sont réglables en fonction de la profondeur d'eau,
- un **enregistreur** analogique UGR 196 C. Les plages de réception de l'impulsion de retour étant programmables, cet enregistreur permet de suivre le fond en faisant varier l'échelle par tranches de 500 ms ou 250 ms temps double (375 m ou 187,5 m).

La qualité des données enregistrées — en particulier la résolution horizontale — peut être améliorée en réduisant la vitesse du support naval à 3-3,5 nœuds. Il s'agit alors d'un compromis avec les exigences de l'enregistrement de la sismique réflexion.

2.2. Procédure d'étalonnage sur site

Les enregistrements analogiques écho-sondeur étant des coupe-temps il convient d'analyser la physico-chimie de la tranche d'eau (essentiellement l'évolution verticale de la température et de la salinité) afin de calculer la variation verticale correspondante de la vitesse du son.

Deux procédures sont disponibles :

- la mesure directe des paramètres température/salinité jusqu'au fond. Ici, seul le paramètre température fut enregistré à l'aide d'un bathy thermographe SIPPICAN XBT précis à 2 % près (fig. 3). La salinité prise en compte (38,5 % au-delà de 200 m de profondeur) résulte de l'étude bibliographique,
- l'étalonnage "à la plaque" qui consiste à comparer sur l'enregistrement écho-sondeur des profondeurs lues

(en fait des temps $\times \frac{1\,500}{2}$ m/sec) avec des profondeurs vraies, matérialisées par la réflexion sur une plaque réfléchissante suspendue à un câble d'acier de longueur connue (fig. 2).

Cette méthode consiste donc en l'intégration sur la tranche d'eau des paramètres physiques intervenant sur la vitesse du son. Au cours de la campagne, elle a été réalisée jusqu'à 950 m de profondeur par palier de 50 m.

III — Interprétation et traitement des données

L'enregistrement du fond de la mer se présente sous la forme de coupe-temps double dont il faut tirer une carte de sondes en mètres.

La méthode utilisée par le BEICIP alterne les phases dites "manuelles" qui sont des phases d'interprétation et de contrôle des données et des phases informatisées (fig. 5).

3.1. Digitalisation et corrections

Le long de chaque profil, les sondes choisies sont les points caractéristiques de la topographie (sommets, creux, ruptures de pente). Entre deux points, le gradient de pente est constant.

Une "interprétation" intervient dans le choix des sondes, interprétation justifiée à grande profondeur par l'existence sur l'enregistrement de nombreux artefacts (hyperboles de diffractions, effets de pente) qui doivent être identifiés et éliminés avant la phase informatique.

Les sondes choisies sont numérisées et leurs coordonnées en x,y sont interpolées par rapport aux fixes du plan de position ; la profondeur z est interpolée par rapport

à l'échelle verticale de l'enregistrement écho-sondeur ; celle-ci étant affectée des corrections suivantes :

3.1.1. Corrections d'étalonnage

(Appliquées au niveau de la digitalisation)

Les corrections d'étalonnage liées à la vitesse du son sont issues de la courbe d'étalonnage qui est la représentation de $\Delta = (\text{profondeur vraie} - \text{profondeur lue})$ en fonction de la profondeur vraie.

La méthode consiste à comparer la **courbe d'étalonnage** où elle existe avec la **courbe théorique** construite en utilisant une vitesse du son calculée par la formule de Wilson et avec les paramètres physiques mesurés (Θ , salinité, profondeur). Une fois contrôlée la similitude des deux courbes, il est possible d'extrapoler la courbe d'étalonnage au-delà des profondeurs étalonnées.

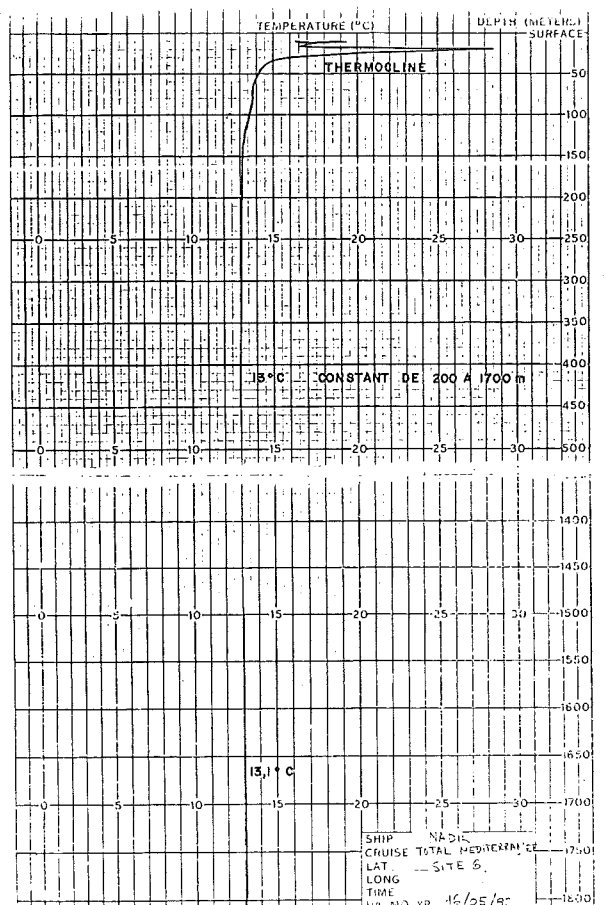


Fig. 3

L'examen de la courbe d'étalonnage montre (fig. 4) :

- une correction de 10 mètres en surface, qui correspond au temps mesuré sur l'enregistrement entre le zéro et l'émission,
- une inflexion entre 300 et 400 m.

Les corrections d'étalonnage liées aux erreurs instrumentales sont déterminées par la valeur de la courbe à la profondeur zéro (une fois soustrait le retard lié à l'immersion du transducteur). Au-delà, la courbe est fonction de l'intégration sur la tranche d'eau de la variation de vitesse du son dont la formule la plus couramment utilisée est :

$$V \text{ en m/s} = 1449 + 4,623 \Theta + 0,055 \Theta^2 + (1,39 - 0,12\Theta) (S - 35) + 0,017P$$

ou :

Θ = température en °C

S = salinité en ‰

P = profondeur en mètres.

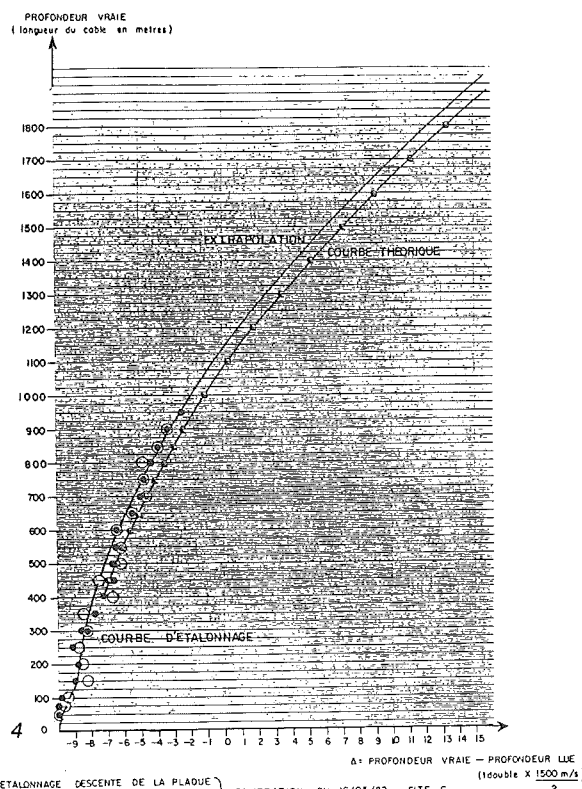


Fig. 4

Les variations des caractères physiques (Θ, S) de l'eau méditerranéenne dans la zone d'étude sont liées à la thermocline et au courant liguro-provençal. Au-delà de 300-400 mètres, où l'influence du courant liguro-provençal ne se fait plus sentir, la température et la salinité sont constantes et caractéristiques de la masse d'eau méditerranéenne profonde.

La mesure SIPPICAN réalisée sur site confirme que la température devient constante et égale à 13 °C au-delà de 200 m. D'après les données bibliographiques, la salinité est de 38,5 ‰ pour les eaux profondes.

L'extrapolation de la courbe au-delà de 950 mètres ne prend donc en compte que la variation de vitesse du son liée au terme P . Pour calculer cette extrapolation, nous avons considéré que les termes S et Θ sont constants à partir de 400 mètres.

La construction de la courbe extrapolée utilise le raisonnement suivant :

Dans la formulation du Δ (correction d'étalonnage), la profondeur vraie P est une fonction de la vitesse du son réelle, à la profondeur considérée.

$$P = \int_0^t V dt \text{ où } V = f(\Theta, S, P) \text{ selon la formule de Wilson}$$

si P_0 est la profondeur à partir de laquelle les termes de Θ et S ne varient plus (et t_0 le temps double correspondant).

$$P = P_0 + \int_{t_0}^t V dt \text{ où } V \text{ s'écrit } C (\text{Constante}) + 0,017 P$$

On peut approximer P de manière à avoir un terme en t ,

$$\text{soit } P = \frac{1500}{2} t$$

donc :

$$P = P_0 + \int_{t_0}^t \left(C + 0,017 \times \frac{1500}{2} t \right) dt$$

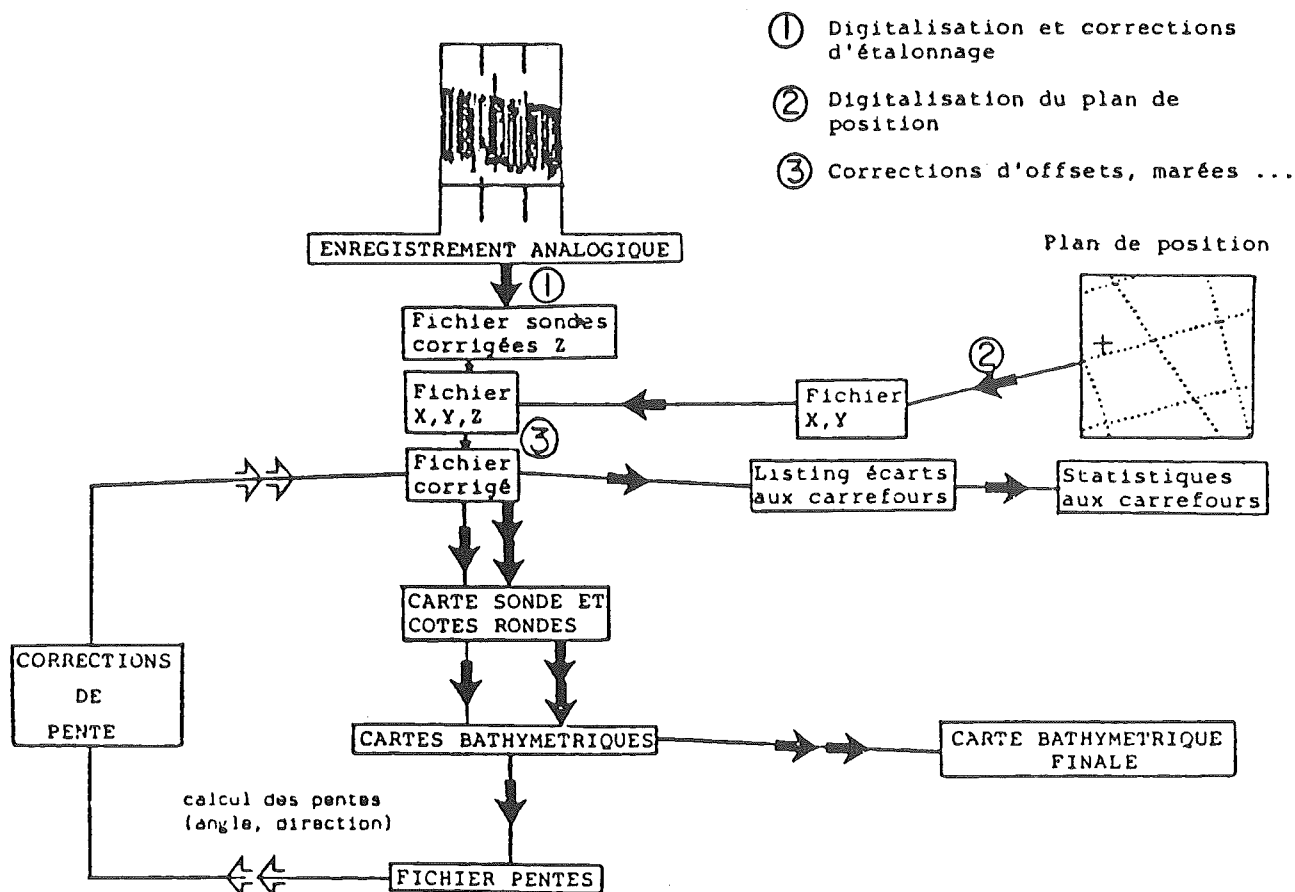


FIGURE 5. TRAITEMENT DES DONNEES

Au temps double t ,

$$Pt = Po + \frac{C}{2} (t - t_0) + \frac{0,017 \times 1500}{2} (t^2 - t_0^2)$$

où Δ' exprime la correction d'étalonnage calculée à partir de la formule de Wilson et des paramètres physiques de l'eau de mer mesurés sur le site.

$$\Delta' = Pt - P_{lue} = Pt - \frac{(1500)}{2} t$$

On note entre 400 et 950 m un écart constant de 1 mètre entre la courbe calculée et la calibration. On décale donc la courbe extrapolée de 1 m par rapport à la courbe calculée.

3.1.2. Corrections de marées

(Appliquées sur le fichier sondes)

D'après les données du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine à Brest, il s'avère que l'onde de marée dans le Golfe du Lion est faible (0,40 m au maximum). Ces 40 cm (± 20 cm) sont à comparer avec les hauteurs d'eau rencontrées sur les sites. L'influence de la marée, inférieure à 1‰ au-delà de 200 m de profondeur, est négligée.

3.1.3. Corrections d'offsets

(Appliquées sur le fichier sondes)

Elles prennent en compte :

- l'immersion du transducteur,
- la distance horizontale entre le transducteur et l'antenne de radio-navigation.

3.1.4. Corrections de pente

(Appliquées sur le fichier sondes)

Ces corrections sont liées à la géométrie du faisceau de l'écho-sondeur et sont d'autant plus importantes que la profondeur et la pente sont importantes. L'origine des altérations de l'enregistrement écho-sondeur par rapport à la topographie réelle est illustrée par le schéma de la figure 6.

3.2. Carte de sondes provisoire

3.2.1. Cartes de pentes

La reconstitution du fond vrai nécessite une connaissance préliminaire des pentes (angles et directions) approchant la réalité.

Dans une première phase, on obtient par dessin automatique une carte de sondes corrigées de l'étalonnage et de l'offset antenne-transducteur. Il faut noter que la grande majorité des contracteurs s'arrête à cette phase.

Les valeurs des pentes mesurées sur les profils écho-sondeur ne permettant qu'une approche trop approximative des pentes on introduit une étape intermédiaire consistant à tracer une première carte bathymétrique à partir des sondes non corrigées des effets de pente. Puis,

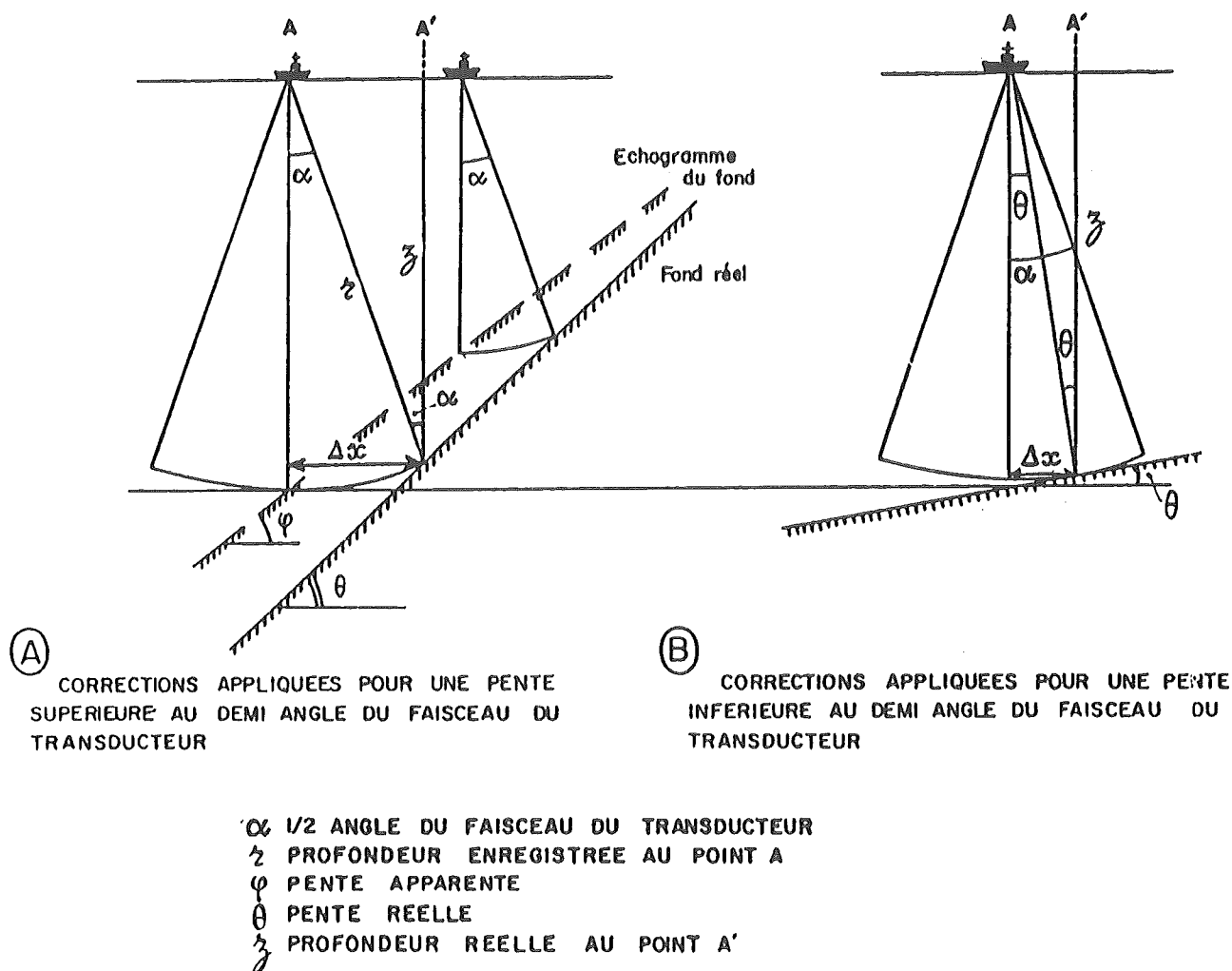


FIGURE 6. ALTERATION DE LA RESTITUTION DU FOND DE LA MER LIEE A LA GEOMETRIE DE L'ECHO-SONDEUR.

le long de chaque profil, chaque sonde est affectée d'une correction liée à une pente calculée, non plus le long du profil, mais dans l'espace à partir de la carte bathymétrique préliminaire. Une deuxième sortie de sondes corrigées à l'aide de cette procédure est réalisée pour permettre le tracé bathymétrique définitif.

3.2.2. Statistiques aux carrefours

Une carte de sondes est une représentation statistique du fond. Une étude statistique des différences aux croisements des profils dans des zones à topographie régulière nous donne une bonne indication sur la **précision relative** des mesures.

Dans les zones à topographie irrégulière et à forte pente (site SNEA(P)), l'existence d'échos hyperboliques ou latéraux rend le pointé délicat pour les profils qui ne sont pas orientés selon la ligne de plus grande pente. Dans ce cas, l'interpréteur doit donner la priorité aux sondes des profils se rapprochant de ce cas de figure. Il n'est donc pas significatif de réaliser une statistique sur ce type de carrefours. Le site TOTAL, au contraire, à topographie très régulière et plus profond, a fait l'objet d'une étude statistique concernant l'ensemble des carrefours.

Sur 143 carrefours entre 1 690 et 1 800 mètres de profondeur, les résultats sont les suivants :

- moyenne arithmétique : 0,81 mètre
- variance : 0,99 mètre
- écart-type : 0,99 mètre
- intervalle de confiance à 99 % : 0,55 × 1,07 ce qui

signifie que pour l'ensemble des carrefours considérés, il y a 99 % de chances pour que la moyennes des écarts aux carrefours soit comprise entre 0,55 et 1,07 mètre.

3.3. Carte bathymétrique finale

Le traitement décrit ci-dessus permet donc d'obtenir une carte de sondes automatiques corrigées et comportant les cotes rondes interpolées le long des profils. Le dessin final des courbes bathymétriques est toujours réalisé par le géologue, l'interprétation des formes nécessitant le plus souvent l'intégration des données issues de l'interprétation géophysique.

IV — Conclusion

De telles études bathymétriques intégrées, dont la procédure a été mise au point dès 1975 sur les projets de gazoducs profonds Tunisie-Italie (720 m) et Algérie-Espagne (2 250 m) sont proposées systématiquement par le BEICIP pour toute reconnaissance offshore. La vérification en vraie grandeur que constitue la descente d'un train de tige par des profondeurs jamais atteintes est une confirmation de la **précision absolue** obtenue par les méthodes géophysiques dans l'investigation indirecte des fonds marins.

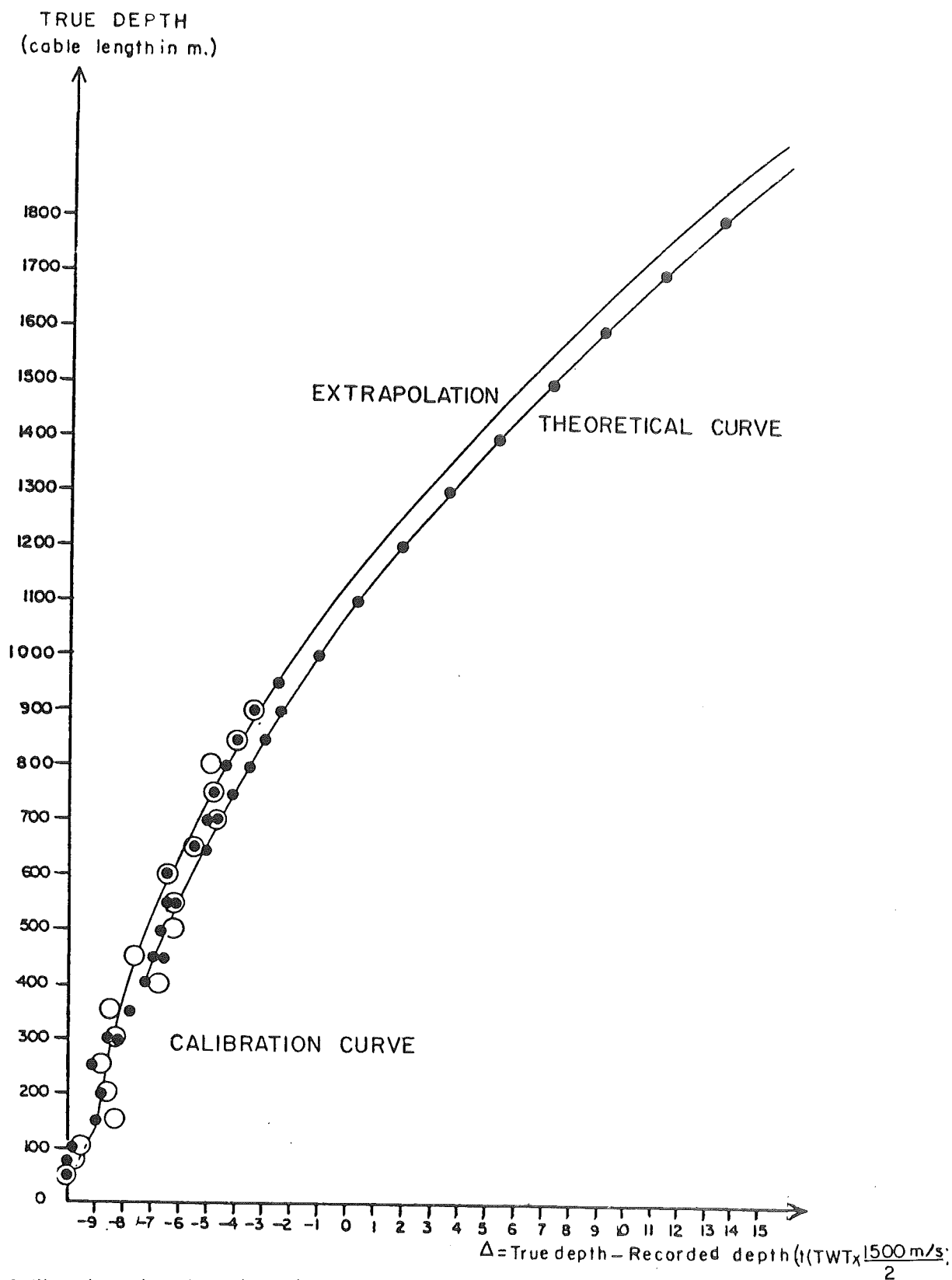


PLATE 4 ECHO SOUNDER CALIBRATION CURVE

Reconnaissance bathymétrique à courte portée

par Ph. GAUDILLERE, SESAM S.A.

Les levés bathymétriques côtiers, fluviaux, lacustres ou portuaires posent en règle générale un problème particulier pour les raisons suivantes :

- la portée est limitée mais l'environnement peut rendre inutilisable les moyens radio-électriques classiques et peut demander de nombreux changements d'implantation des balises ;
- le support naval a une dimension réduite ;
- la précision recherchée est supérieure à celle acceptable habituellement et la densité de points à acquérir plus importante.



Fig. 1. - Bathymétrie sur étang

Un système d'acquisition de sondage se compose :

- d'un équipement de positionnement ;
- d'un écho-sondeur ;
- d'un calculateur et du logiciel d'acquisition.

Le but de cet article est de dégager quelques critères de choix du système de positionnement et de rappeler quelques-unes des causes affectant la précision du levé.

Positionnement

— Topographie

L'usage de la topographie classique, intersection par 2 théodolites et/ou implantation d'alignements plus intersection par théodolite présente les inconvénients suivants :

- besoin en personnel qualifié important,
- implantation préalable,
- cadence très lente conduisant à des interpolations de position,
- problèmes de synchronisation entre saisie de la position et celle de la profondeur,
- traitement long et fastidieux,
- précision douteuse quand on travaille sur alignements.

(A chaque fois que l'on met en place un système automatisé, l'expérience montre que les écarts du bateau "maintenu" sur alignement peuvent être très importants).

— Systèmes radio-électriques mesurant des distances

Les systèmes (Sylédis, Trident, Motorola, Trisponder...) sont souvent mal adaptés, ce pour deux raisons principales : l'une d'ordre "géométrique", l'autre d'ordre radio-électrique.

La précision dépendant de l'angle d'intersection des lieux, il est nécessaire, soit de disposer d'un grand nombre de balises à proximité de la zone de travail, soit de pouvoir, ce qui est loin d'être le cas général, placer ces balises suffisamment en retrait.

En milieu fermé et/ou en environnement industriel, on se trouve confronté à des problèmes de propagation dépendant des fréquences de travail du système. Ces problèmes sont principalement les réflexions et les trajets terrestres. Ils peuvent rendre le système totalement inexploitable.

Il convient de noter par ailleurs que le coût de ces systèmes est élevé (moyenne 1 MF).

La précision est de l'ordre du mètre, mais pour contrôler et maintenir cette précision, il convient d'être très vigilant. Avec seulement trois lieux se recoupant sous des angles très différents, le point calculé peut être assez éloigné du point réel (voir fig. 2).

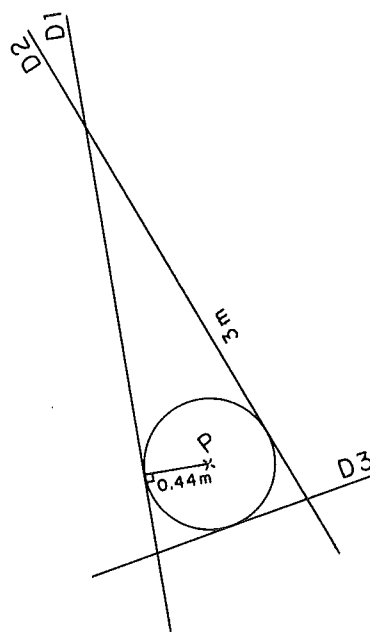


Fig. 2. - Calcul de la position par 3 lieux

Les avantages sont : une cadence d'acquisition extrêmement rapide permettant à la limite d'affecter une position à chaque coup de sonde du sondeur et l'automatisme complet des balises à terre.

A titre d'exemple, supposons que l'on ait obtenu 3 distances D1, D2, D3 formant un triangle isocèle d'angle au sommet 20 degrés et de côté 3 mètres. Le point calculé P centre du cercle inscrit dans ce triangle va se trouver à 44 cm (rayon du cercle) des côtés donc à 2,5 mètres du sommet A. Si l'on suppose que D1 et D2 sont exactes et que c'est D3 qui est erronée, on commet donc une erreur de 2,5 m.

En milieu fermé avec des distances courtes les angles d'intersection varient beaucoup d'un côté à l'autre de la zone couverte.

Systèmes par relèvement/distance

Ces systèmes sont les plus simples à implanter puisqu'ils ne demandent que 2 points connus, l'un en bordure de zone où est installé le matériel, l'autre devant simplement être visible du premier puisqu'il sert à caler les mesures angulaires.

La précision est homogène sur l'ensemble de la zone de travail, elle décroît avec la distance en fonction de la résolution angulaire du système.

Dans ce type d'équipements, on trouve 4 classes de matériels de mode opératoire et performances diverses et donc les coûts de base sont en progression géométrique (100 KF, 200 KF, 400 KF, 800 KF).

Ces 4 classes se subdivisent en 2 catégories :

- Systèmes à suivi automatique,
- Systèmes à suivi manuel.

Il convient de noter que dans les deux cas un pointé manuel initial sur le point de référence angulaire est nécessaire. Les systèmes à suivi automatique peuvent également demander des recalages intermittents et le matériel à terre ne peut en général être laissé sans gardiennage compte tenu de son prix. Une présence humaine plus ou moins active est donc indispensable dans tous les cas.

Systèmes à suivi automatique :

- ARTEMIS - système à fréquence radar de portée importante (fig. 3)

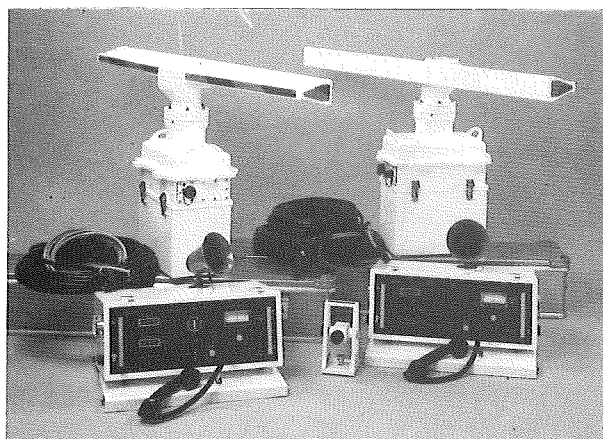


Fig. 3. - Système Artémis - Station sol
Station embarquée

- ATLAS POLARFIX - système laser portée 4 à 5 km
- AGA Autotracker - système laser portée 2 à 3 km

Systèmes à pointé manuel :

- AGA 140 - appareil topographique laser portée 3 à 4 km mesurant en outre l'angle vertical (fig. 4)

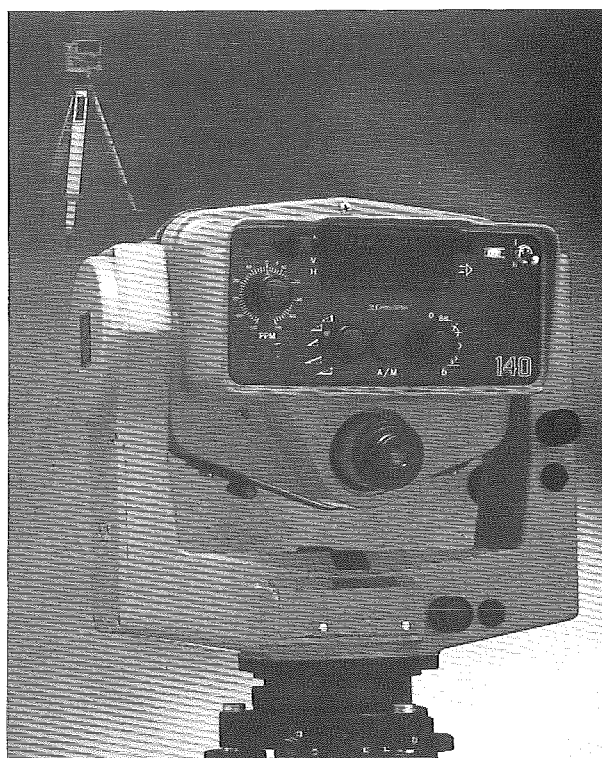


Fig. 4. - AGA 140

- ESP/VYNER - laser à portée 3 à 4 km (fig. 5).

(Des systèmes équivalents peuvent être constitués d'éléments d'origine diverse ; par exemple télémètre Fennel et codeur angulaire).

Cette liste n'est pas exhaustive et nous nous excusons auprès des fournisseurs qui n'auraient pas été cités.

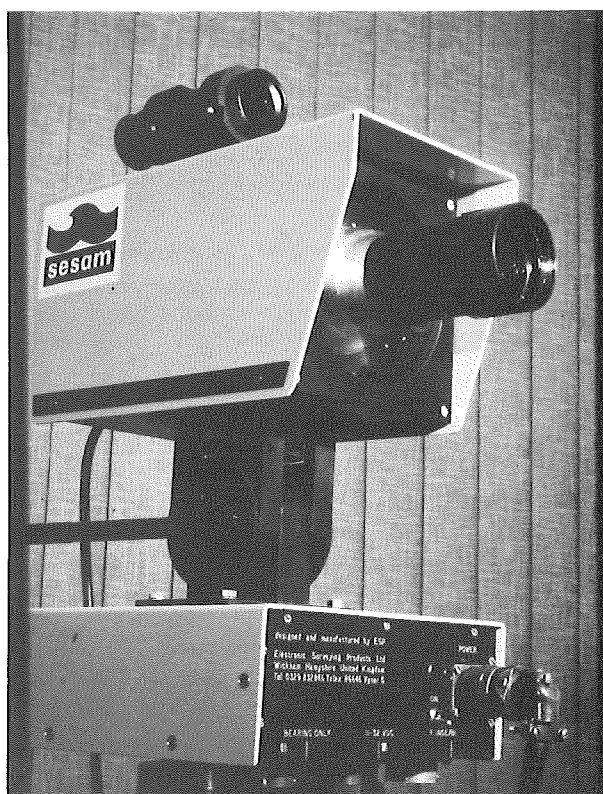


Fig. 5. - Vyner

— Contraintes opérationnelles :

A l'exception de l'ARTEMIS, tous les systèmes utilisent un faisceau laser et sont donc dépendants des conditions météo (brouillard ou pluie). Une couronne de prismes est installée sur le bateau de façon à avoir un retour quelle que soit l'orientation du bateau. Le nombre et la dimension des prismes nécessaires est fonction de la portée recherchée.

Pour les appareils à pointé manuel, la facilité du suivi est d'autant plus grande que la précision est plus faible. Cette facilité de suivi est en fait fonction de l'ouverture du faisceau laser. De cette facilité de suivi va dépendre la qualification du personnel nécessaire, la cadence d'acquisition et la durée raisonnable d'une opération de sondage.

Les matériels à suivi relativement aisé, s'ils sont d'une précision acceptable pour les opérations de sondage, ne peuvent pas par contre être utilisés pour des travaux topographiques.

Ces systèmes donnant un point par 2 lieux ne peuvent fournir d'indications sur la précision obtenue. Celle-ci sera en fait fonction de la qualité du calage initial qui peut introduire un décalage systématique de la qualité du pointé, de l'ouverture du faisceau laser et des prismes servant de réflecteurs. Ces trois derniers points sont interdépendants.

La mesure angulaire peut sans difficulté être extrêmement précise mais cette précision est illusoire si l'on recueille une réflexion laser latérale. Ces réflexions latérales sont fonction de la focalisation du faisceau et de la puissance renvoyée par les prismes.

Précision

La notion de précision en sondage doit être considérée dans son ensemble et on ne peut dissocier la mesure de la position de celle de la profondeur.

Notre propos ici n'est pas de décrire les diverses sources d'erreurs rencontrées dans la seule mesure de la profondeur mais de rappeler deux points importants qui affectent la relation entre position et profondeur.

— Date des mesures

Les mesures de la position d'une part et de la sonde d'autre part sont entièrement indépendantes et le seul élément permettant de les relier est en fait la "date" de chacune des mesures. Cette notion de datage est fondamentale et pour mieux en saisir les implications, il convient de regarder rapidement le mode d'acquisition des matériels en jeu.

Sondeurs :

La très grande majorité des sondeurs sont des appareils autonomes effectuant des mesures à cadence régulière fonction de l'échelle choisie. On ne peut donc déclencher une mesure de "l'extérieur". Tout au plus peut-on détecter l'instant où une nouvelle mesure est disponible. Si l'on n'utilise pas cette possibilité, l'incertitude sur la date sera de l'ordre de 50 à 100 msec pour les échelles utilisées par petits fonds.

Positionnement

A la différence des systèmes radio-électriques, les matériels optiques ne peuvent en général être synchronisés de l'extérieur ; ils fonctionnent à leur rythme propre comme les sondeurs avec des cadences de l'ordre de 100 à 400 msec. Ces cadences correspondent, toujours en règle générale, au temps pendant lequel on effectue la moyenne d'une série de mesures unitaires. Pendant ce temps, le bateau s'est déplacé et on associe à une distance moyenne sur cette durée une position angulaire "instantanée". Si on exprime ces différences en temps, on voit donc que l'incertitude sur l'écart entre

"date" de la sonde et heure de la position est de l'ordre de 200 msec, ce qui à 5 nœuds représente déjà 50 cm.

Les fonctionnements étant asynchrones, il ne s'agit pas là d'une erreur systématique et on ne peut donc la corriger.

Pour les matériels optiques, qui sont installés à terre, s'ajoute le problème de la transmission de l'information vers le système de saisie (transmission relèvement distance vers le bateau ou de la sonde vers la terre).

Si le temps de transmission par lui-même est négligeable, le temps de décodage du message transmis peut vite devenir très important selon la forme et le mode de transmission du message, le calculateur utilisé, et l'algorithme de décodage.

Il faut être très vigilant dans les routines d'acquisition et de calcul pour ne pas augmenter encore l'écart de temps entre sonde et position associée. Il suffit pour s'en convaincre de chronométrer sur votre micro ou mini le temps nécessaire à la décomposition d'une chaîne de caractères alphanumériques de dimension variable.

— Pente du fond

Si l'on admet que la position mesurée est à l'aplomb du sondeur et que le bateau est stable, l'autre source d'erreur dans la relation entre position et sonde provient de la pente du fond que l'on est en train de sonder et de "l'ouverture" du faisceau du sondeur (voir figure 2).

Il y a lieu évidemment d'utiliser un sondeur à faisceau étroit donc de travailler à fréquence élevée pour limiter l'écart entre position du transducteur et position sur le fond du point dont on a obtenu la sonde.

Il convient de rappeler qu'à l'ouverture de faisceau donnée par le constructeur correspond une puissance réduite (en général de moitié) par rapport à celle émise dans l'axe et non une sorte de limite physique de l'émission sonore. Quand on sonde par petits fonds les puissances émises latéralement peuvent être souvent suffisantes pour recueillir des échos latéraux.

La figure 6 montre qu'à un écho latéral à 5 degrés de la verticale sur une pente de 10 degrés par fonds de 10 m, va correspondre un décalage de position de près de 90 cm. Les valeurs choisies à titre d'exemple sont tout à fait raisonnables.

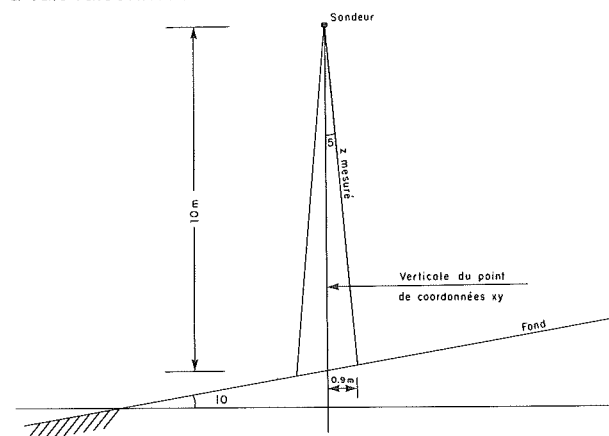


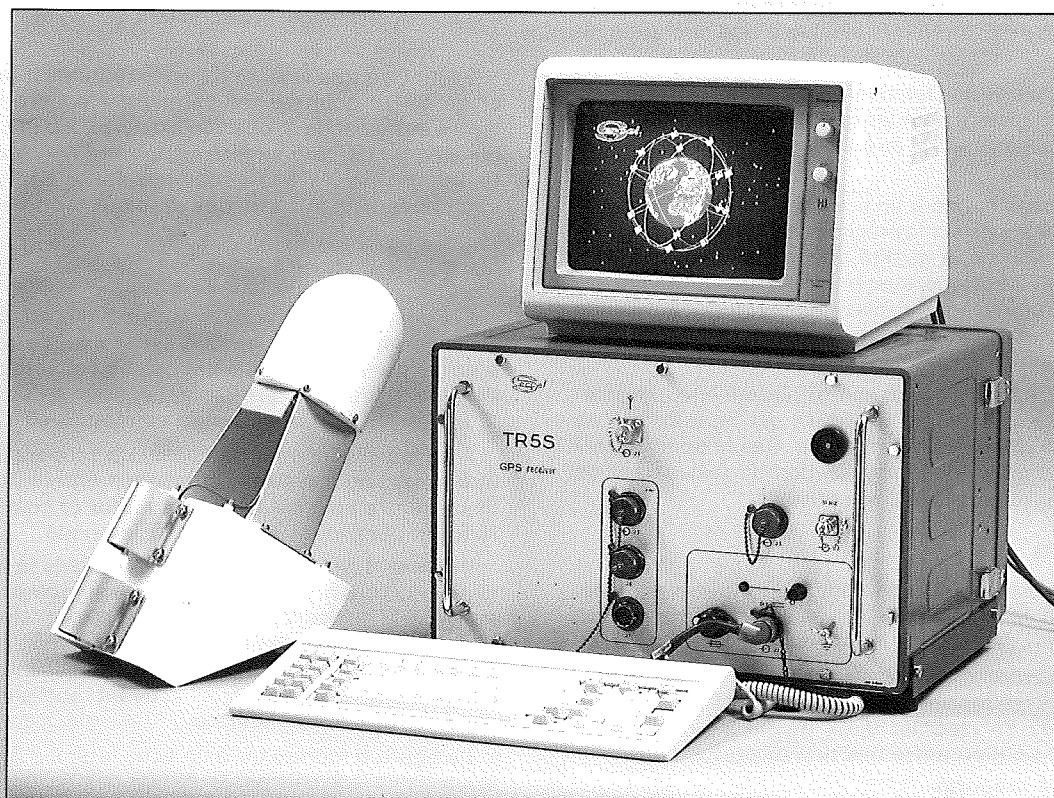
Fig. 6. -

Conclusion

On voit donc que, avec les seuls deux problèmes abordés ici, l'écart entre la position mesurée XY et la position réelle du point de sonde Z peut aisément atteindre le mètre sans pouvoir être corrigé. La précision intrinsèque d'un système de positionnement en statique n'est donc pas un critère absolu dans le choix d'un système de sondage.

TR5S

RÉCEPTEUR G.P.S. NAVSTAR



L'I.G.N l'a choisi pour expérimenter le système
G.P.S. NAVSTAR.

LABORATOIRES ET USINES

SERCEL/FRANCE B.P. 64, 44471 CARQUEFOU CEDEX, FRANCE ☎ 40 30 11 81. Telex 710 695 F

SERCEL INCORPORATED/U.S.A. 3661 154th Avenue N.E. REDMOND, Washington 98052
☎ (206) 885 5585. Telex 229 713

VENTES ET APRÈS-VENTES

SERCEL/FRANCE B.P. 64, 44471 CARQUEFOU CEDEX, FRANCE ☎ 40 30 11 81. Telex 710 695 F

SERCEL INCORPORATED/U.S.A. 17155 Park Row, P.O. Box 248909 HOUSTON, Texas 77218
☎ (713) 492 6688. Telex 0792322

SERCEL ELECTRONICS OF CANADA Ltd Bay 1, 1715-27th Avenue N.E. CALGARY, Alberta T2E 7E1
☎ (403) 250 7262 - Telex 03824738



Développements autour du sonar latéral pour la reconnaissance morphologique détaillée des zones côtières

J.-M. AUGUSTIN et S. BERNE
IFREMER - Centre de Brest

Introduction

En mer, toute étude à caractère géologique ou de génie civil nécessite une reconnaissance géophysique préliminaire, mettant en œuvre des moyens relativement peu coûteux et utilisés de façon simultanée :

- positionnement radio-électrique précis,
- bathymétrie fine,
- sonar latéral pour la connaissance de la nature lithologique du fond de la mer.,
- sismique réflexion très haute résolution pour la détermination des séquences sédimentaires.

Pour la reconnaissance des zones côtières, l'IFREMER réalise actuellement un effort pour l'amélioration de ces différents outils ; plus particulièrement cette note présente les développements réalisés pour l'acquisition en mer et le rejeu à terre des données fournies par un nouveau type de sonar latéral ainsi que l'exploitation géologique qu'ils permettent.

I. Rappel

Les applications du sonar latéral à la géologie marine sont connues depuis 1958 (Chesterman et al.) ; le principe réside dans l'utilisation de deux transducteurs, montés sur un poisson remorqué, émettant un signal de très courte durée d'impulsion et dont le lobe d'émission est très étroit en gisement (plan horizontal) et très large en site (plan vertical) ; ce signal rétrodiffusé par le fond de la mer avec plus ou moins d'intensité selon sa topographie et sa nature, sera capté par les mêmes transducteurs et visualisé sous forme de lignes successives suivant l'avance du navire, produisant une image s'apparentant à une photographie aérienne.

Jusqu'à ces dernières années, l'utilisation de données analogiques conduisait à deux types de déformations géométriques sur les sonogrammes :

- pour une émission perpendiculaire à la route suivie, le signal rétrodiffusé transversalement à l'antenne (fig. 1)

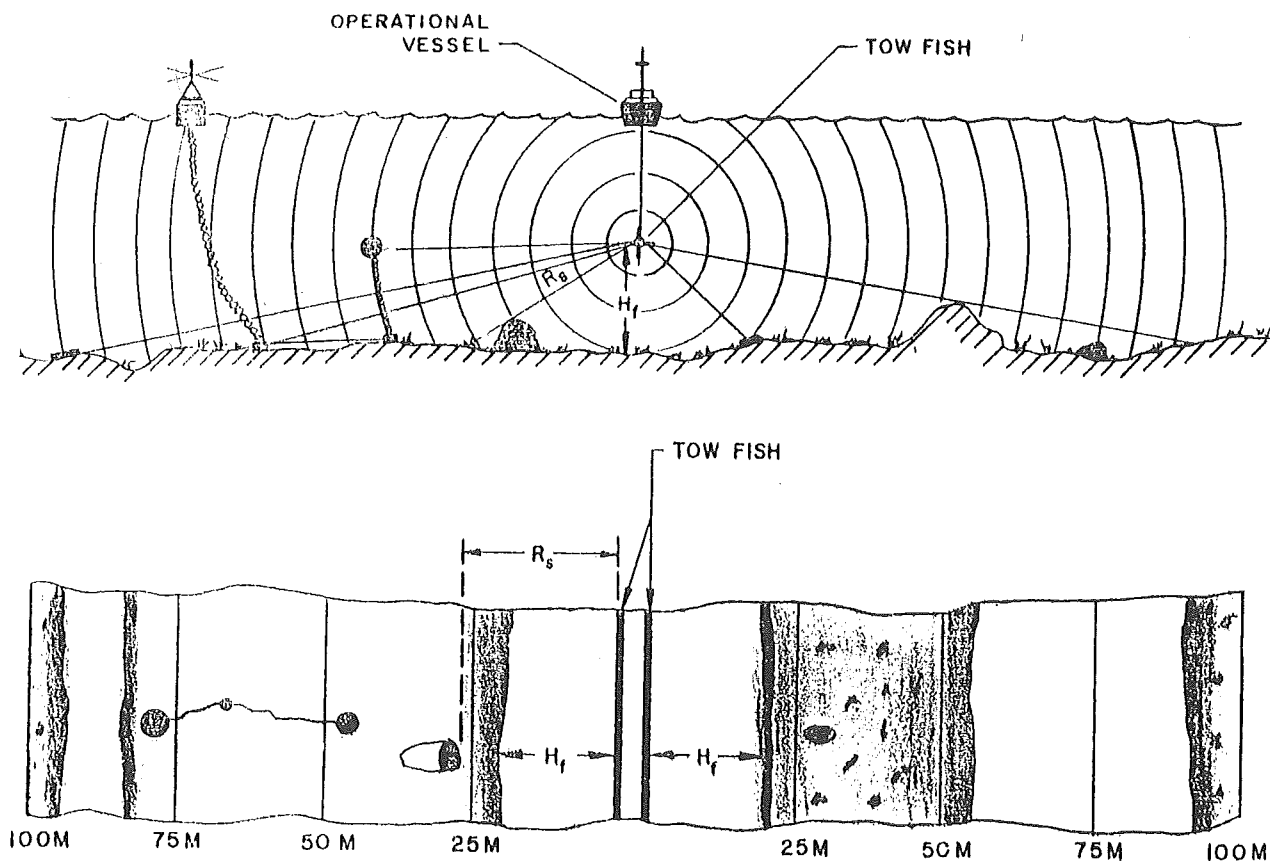


Fig. 1 : Schéma de principe du sonar latéral (d'après EGG) - H_f = altitude du poisson. - R_s = distance oblique.

et visualisé par une ligne sur l'enregistreur graphique correspondait à des trajets obliques et donc à une déformation des distances vraies sur le fond dépendant de l'altitude du poisson (fig. 2) : on visualisait d'autre part le trajet des ondes acoustiques dans l'eau, d'où une perte de place sur le support graphique ;

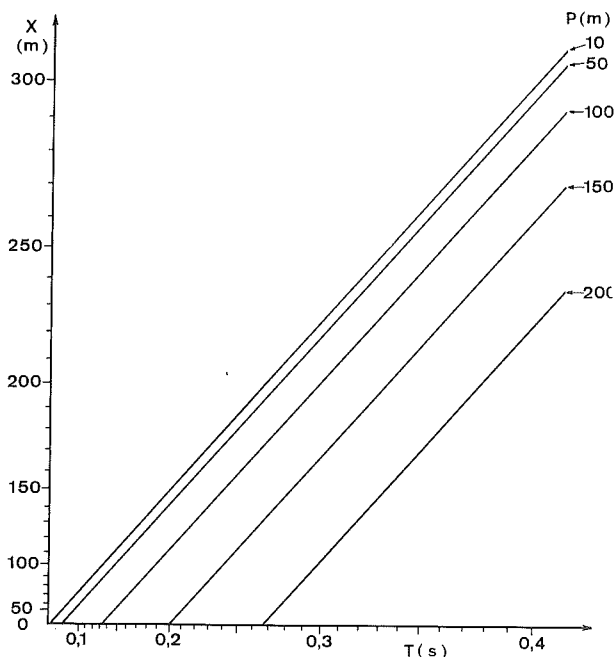


Fig. 2 : Variation du temps d'arrivée T_s d'un écho situé à une distance horizontale X en fonction de l'altitude P du poisson (Cholet, 1968).

— parallèlement à la route suivie, l'image du fond de la mer subissait une compression variant avec la vitesse du navire, la vitesse de déroulement du papier des enregistreurs graphiques étant constante (fig. 3).

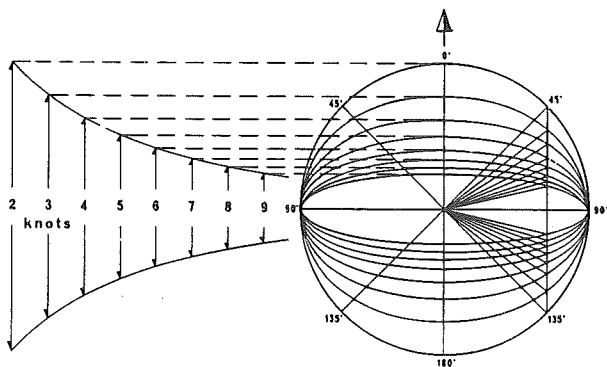


Fig. 3 : Ellipses de distorsion pour la correction de l'effet de compression parallèle à la route (Flemming, 1976).

Pour pallier ces inconvénients et produire une représentation orthonormée à partir de sonogrammes, plusieurs méthodes ont été proposées, basées sur des procédés optiques (Clay 1964, Cholet et al., 1968, Sanders, 1969, Berkson et al., 1973) ou graphiques (Flemming, 1976). Plus récemment, de nombreux laboratoires ont développé sur ordinateur des méthodes de report cartographique, après digitalisation des enregistrements graphiques.

L'introduction des microprocesseurs a permis la naissance d'une nouvelle génération d'équipements produisant en temps réel des images corrigées géométriquement et stockant les données brutes sous forme numé-

rique. L'utilisation simultanée de systèmes de positionnement radio-électriques dont la précision est de l'ordre du mètre, la pratique systématique de la "vérité-terrain" (photo-vidéo sous-marine, prélèvements) et l'emploi à terre de moyens informatiques capables de traiter l'énorme quantité de données que représente l'imagerie sonar permettent aujourd'hui de réaliser une cartographie géologique détaillée et rapide (1 km²/h en moyenne) du fond de la mer.

II. Acquisition des données en mer

II.1 Le sonar latéral

II.1.1. Le poisson est équipé de deux antennes émettant latéralement des signaux de 105 kHz de fréquence, à courte durée d'impulsion (0,1 ms) et à une cadence variable proportionnelle à la portée sélectionnée : cadence d'émission (en secondes) = 0,0015 fois la portée (en mètres).

Le lobe d'émission est étroit dans le plan horizontal (1,2°) et large de 20 ou 50° dans le plan vertical (fig. 4). En fait, l'utilisation des lobes secondaires élimine presque complètement la zone aveugle à la verticale du poisson, mais la résolution y est bien moindre.

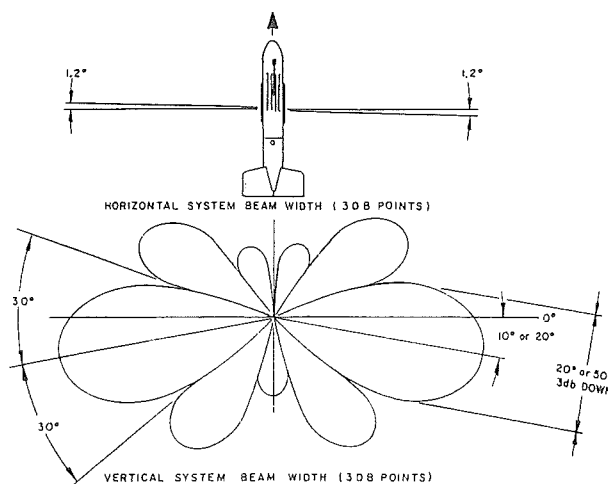


Fig. 4 : Lobes d'émission du sonar EGG (d'après EGG).

La portée annoncée de 500 m pour chaque voie n'est en fait atteinte qu'au prix d'une dégradation importante de la qualité de l'image.

Dans la pratique, on utilise surtout les portées 100 et 200 mètres, voire 300 mètres pour des profondeurs d'eau plus importantes. A l'inverse, la portée efficace est souvent inférieure à 50 mètres par très faible profondeur d'eau (moins de 10 mètres).

Le poisson est relié à l'enregistreur par un câble électroporteur à 7 conducteurs, par l'intermédiaire d'un treuil à collecteur tournant, permettant une télécommande des mouvements du poisson. Compte tenu de l'atténuation du signal dans le câble, la longueur de celui-ci est limitée à 600 mètres, ce qui permet une profondeur d'investigation maximum d'environ 150 mètres.

II.1.2 L'enregistreur SMS 960 associe plusieurs fonctions :

- toutes les fonctions électroniques classiques (TVG, amplification, y compris la numérisation du signal),
- la détermination de l'altitude du poisson (détection d'un seuil) servant au calcul par microprocesseurs de la position réelle de chaque pixel de l'enregistrement (correction d'obliquité),

- la suppression du trajet des ondes acoustiques dans l'eau permettant de juxtaposer les voies gauche et droite,
- l'asservissement du défilement du papier à la vitesse du navire (correction de la compression),
- la visualisation des données ramenées dans un repère orthonormé par une table traçante numérique sur papier électro-sensible (16 niveaux de gris, 2048 pixels par ligne),
- l'entrée d'informations (date, vitesse, cap, position, n° profil, etc...) de façon manuelle (clavier) ou automatique (interface RS 232).

II.1.3 L'enregistreur magnétique

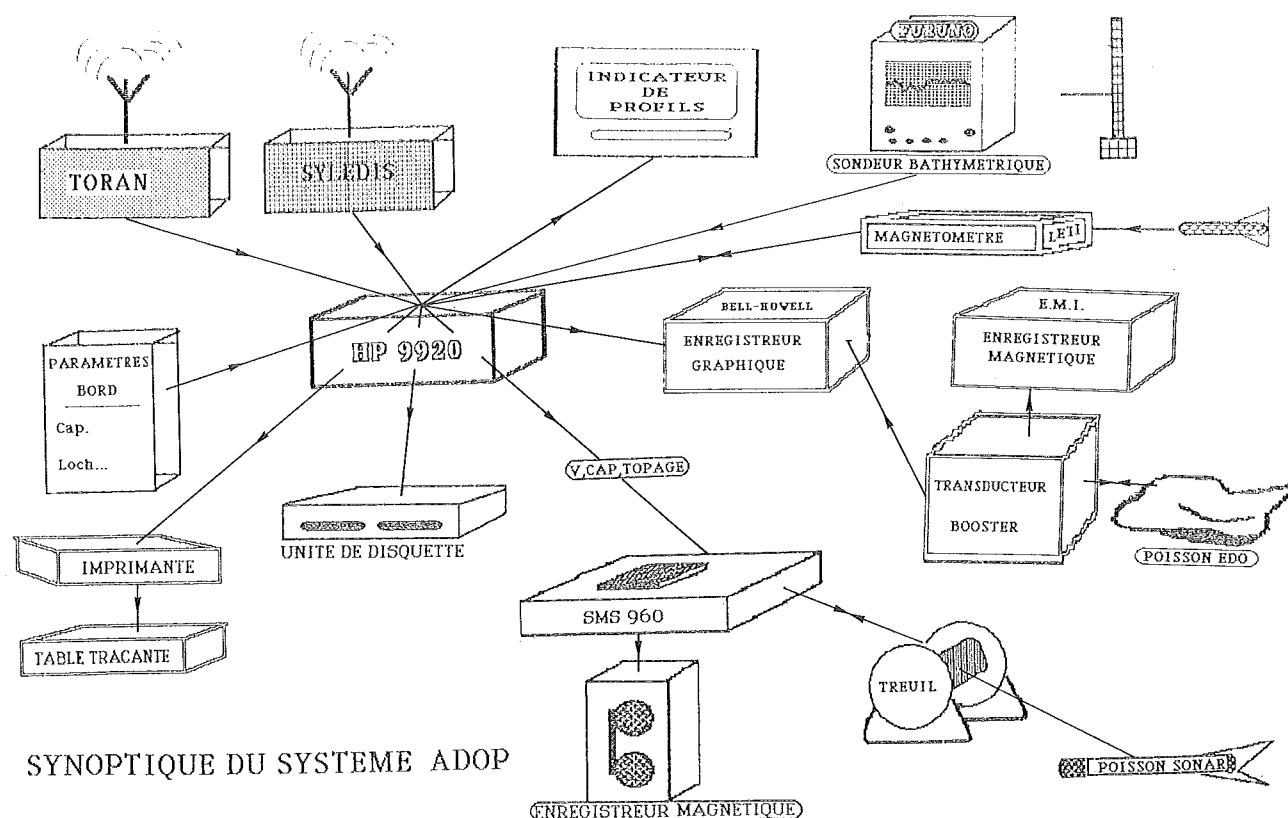
Les données numérisées brutes (après TVG) sont enregistrées sur un dérouleur de bande 1 600 bpi. La numérisation s'effectue à une fréquence variable, de façon à conserver le même nombre d'octets (1800) quelle que

soit la portée (6 kHz pour chaque voie en portée 100 m, 1.2 kHz en portée 500 m).

Chaque enregistrement de 1 800 octets, correspondant à une émission-réception, comporte 32 octets d'information de contrôle (n° de profil, date, vitesse...) et 2 fois 884 octets correspondant aux 2 voies multiplexées, codées sur 6 bits (soit une dynamique de 64 niveaux).

Pour réaliser la quantité d'informations ainsi stockée, rappelons qu'en échelle 100 mètres, une minute d'enregistrement correspondra à 424 320 bits de données !

Dans la version utilisée par l'IFREMER, ces données sont formatées (Kennedy 9217 B/9218 buffered format), ce qui accroît la capacité de stockage (42 minutes par bande en échelle 100 mètres) et rend les enregistrements compatibles pour le traitement ultérieur par le logiciel TRIAS (chapitre IV).



SYNOPTIQUE DU SYSTEME ADOP

Fig. 5 : Synoptique du système ADOP (acquisition de données-plateau).

II.2 Le système intégré ADOP

L'acquisition de l'ensemble des données géophysiques est organisée autour du système ADOP (acquisition de données plateau continental) réalisé par Génavir-Brest (fig. 5). ce système géré par un micro-ordinateur HP 9920 assure :

l'acquisition simultanée de :

- deux systèmes de positionnement radio-électrique (par exemple SYLEDIS et TORAN),
- d'un sondeur bathymétrique de précision à sortie numérique (par exemple le FURUNO FE-881 fonctionnant à 200 kHz avec un faisceau de 5,4°, utilisé comme équipement mobile),
- des "paramètres bord" de cap et vitesse surface,
- d'autres mesures numériques (par exemple magnétométrie),

- l'enregistrement sur disquette 700 K des données,
- l'édition sur imprimante des paramètres et le tracé de la route sur table traçante,
- l'aide à la navigation par un indicateur de route placé devant l'homme de barre,
- la topage des enregistreurs,
- l'envoi d'un message au sonar latéral permettant en particulier la prise en compte en temps réel de la vitesse de fond calculée pour la correction géométrique de l'image sonar (correction de vitesse).

Les campagnes de géophysique réalisées sur le plateau continental par l'IFREMER peuvent désormais mettre en œuvre **simultanément**, une couverture au sonar latéral, une bathymétrie fine, une coupe sismique réalisée au sondeur de sédiments 2,5 kHz ou avec un Sparker SIG et un magnétomètre différentiel du CENG-LETI. Le traitement des données sonar est présenté maintenant.

III. Rejeu des données : trias, logiciel de traitement des images acoustiques de sonars latéraux

Le besoin en traitement des données SONAR a incité l'IFREMER à développer un logiciel spécifique appelé TRIAS (traitement des images acoustiques des sonars latéraux), utilisé actuellement pour le sonar grands fonds SAR et le sonar petits fonds EGG.

TRIAS permet :

- de transférer les données sur disque,
- de faire les corrections géométriques suivantes :
 - correction d'obliquité
 - correction de vitesse
 - correction d'obliquité en tenant compte de la pente du terrain
 - correction en fonction d'un relevé bathymétrique
 - correction de lacet
- de rehausser les contrastes,
- de supprimer les halos dus à des diagrammes d'antenne non uniformes,
- de visualiser les images sur différents reconstituteurs à des échelles données (1/1000, 1/2000, 1/5000 pour le sonar EGG),
- de visualiser la navigation sous plusieurs types de projections à des échelles définies,
- de composer des mosaïques.

TRIAS offre de nombreux utilitaires :

- sauvegarde et restauration des images,
- analyse des fichiers (ex : localisation horaire d'une ligne et inversement).

III.1 Architecture du logiciel TRIAS

TRIAS est un logiciel comportant plusieurs niveaux de programmes, chaque niveau étant plus spécialisé (fig. 6).

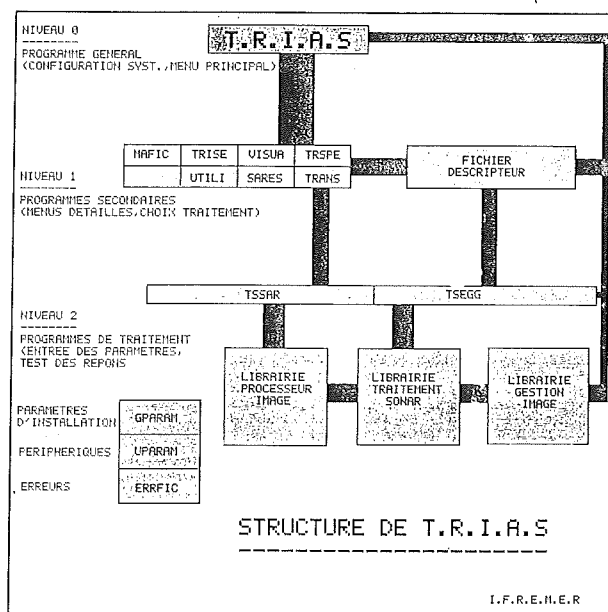


Fig. 6 : Synoptique du système TRIAS.

Le menu principal (niveau 0) donne accès aux options suivantes :

- 01 ... Characteristics File Handling
- 02 ... Images Sort and Selection
- 03 ... Transferts
- 04 ... Displays

- 05 ... Specific Processings
- 06 ... Routines
- 07 ... Save and Restore
- 08 ... End.

Le menu 1 permet d'accéder aux menus détaillés et au choix des traitements.

Le menu 2 permet d'effectuer les traitements de routine (rehaussement, correction géométrique etc...) ainsi que des traitements spécifiques pour certaines scènes (fig. 7).

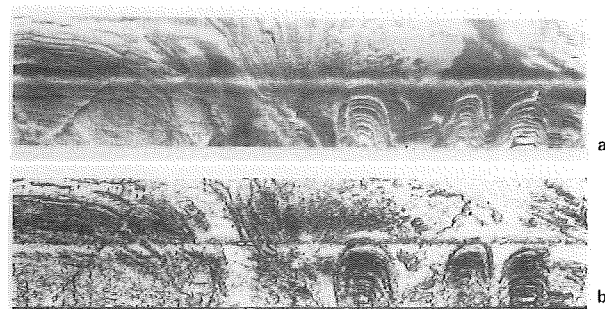


Fig. 7 : Exemple de traitement par TRIAS.

a : image après corrections géométriques et rehaussement.

b : filtrage de Kirsch mettant en évidence la stratigraphie et la fracturation.

III.2 Constitution d'une mosaïque sonar à l'aide de TRIAS

Dans un premier temps, nous faisons une approche semi-automatique dont les différentes étapes sont les suivantes (fig. 8) :

- transfert de la navigation sur disque (cette navigation a été préalablement traitée),
- visualisation de la navigation sur écran,
- tri et sélection automatique des images à partir de la navigation. On élimine ainsi les zones de giration ou d'altitude trop élevées. Ce module crée un fichier donnant les adresses de début et de fin des images à traiter,
- transfert des données images sur disque. Les corrections géométriques, la mise à l'échelle, le rehaussement de contraste, la suppression du halo se fait lors du transfert,
- visualisation des images,
- visualisation de la navigation avec les cadres correspondant aux images sur papier à la même échelle que les images,
- découpage et collage des images sur le tracé de navigation,
- constitution d'un fichier Dérive si les profils font apparaître des décalages,
- correction de la navigation à l'aide du fichier Dérive,
- visualisation de la nouvelle navigation avec les cadres image,
- visualisation des images en s'appuyant sur la nouvelle navigation.

Dans un deuxième temps, la constitution de la mosaïque se fera sur une seule image de grande taille. Cette image sera ensuite visualisée sur un reconstituteur approprié.

III.3 Configuration matérielle et logicielle

Logiciel :

- TRIAS est écrit en FORTRAN 77,
- les tracés de graphique sont écrits selon la norme GKS

Matériel :

- un ordinateur VAX 11/780 avec 4 M octets de mémoire,
- un disque magnétique de 456 M octets,
- un dérouleur de bande 6250 bpi,

- une console alphanumérique,
- une console graphique,
- un restituteur d'image SORO à 2048 pixels de 0,1 mm par ligne,
- une table traçante.

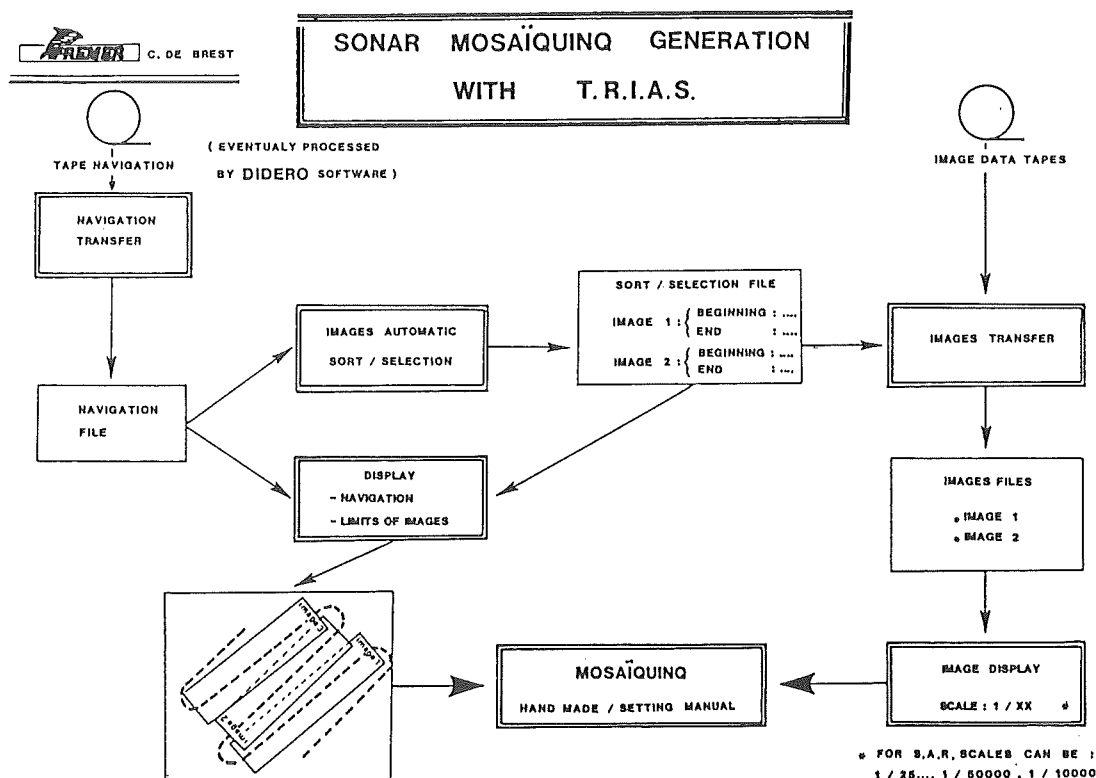


Fig. 8 : Synoptique de la fabrication de mosaïque.

IV. Exploitation des données

Le sonar latéral permet :

- une classification de la nature lithologique du fond (roche, sable, gravier) ;
- la mise en évidence des accidents affectant le substratum rocheux là où il affleure ;
- la détermination des directions et sens de transits des sédiments par charriage grâce aux figures créées par ce transport ;
- la localisation d'obstacles tels que pipe line, épaves, etc...

La précision des moyens de positionnement employés, l'intégration des différents capteurs développée par ordinateur et les possibilités de traitement développées à terre permettant de réaliser une interprétation géologique extrêmement détaillée et précise.

IV.1 Classification des fonds

L'imagerie sonar est caractérisée par sa nature hybride : l'intensité du signal rétrodiffusé par le fond dépendra à la fois de l'angle d'incidence du rayon émis (effet topographique) et de la nature du fond. Certains phénomènes comme la bioturbation ou la présence d'algues peuvent encore compliquer l'interprétation des sonogrammes.

Dans la pratique, l'expérience de l'imagerie sonar, associée à une "vérité terrain" (prélèvements, prises de vues), permet de réaliser une cartographie manuelle précise, dans l'attente des progrès de la classification automatique (REUT et al., 1985), rendus possibles par l'obtention de données numériques.

La figure 9, traitée par le logiciel TRIAS, illustre les principaux faciès rencontrés sur les plates-formes continentales :

- sédiments fins, peu rétrodiffusants, apparaissant clairs sur l'image ;
- sédiments grossiers (gravier) très rétrodiffusants apparaissant en sombre sur l'image ;
- fonds rocheux, très rétrodiffusants et donc en sombre sur l'image sonar, mais présentant également des zones claires correspondant aux ombres créées par les reliefs importants.

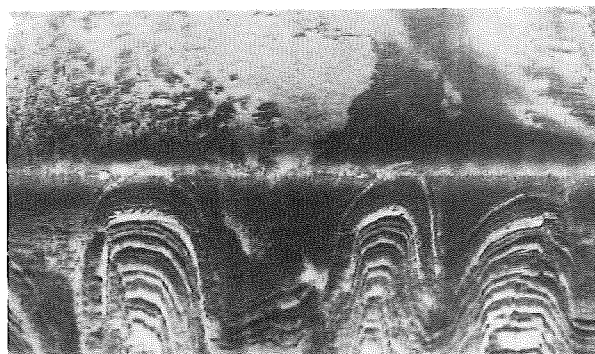


Fig. 9 : Exemple d'enregistrement sonar.

Au-delà de la classification lithologique du fond de la mer, l'apport essentiel de l'imagerie sonar numérique, corrigée géométriquement, est de fournir une vision non déformée des structures : stratigraphie et fracturation pour les roches, figures sédimentaires pour les dépôts meubles.

IV.2 Analyse structurale à partir des images sonar

Dans certains cas favorables, il est possible de réaliser une véritable analyse structurale à partir de l'imagerie sonar, en particulier pour les zones couvertes par une mosaïque (Gresselin, 1984). Les plis faillés de la figure 9 en sont un bon exemple, et les traitements rendus possibles par TRIAS permettent de mettre en valeur des directions de fracturation privilégiées ; le sens des décrochements est également parfois visible ainsi que le pendage des couches.

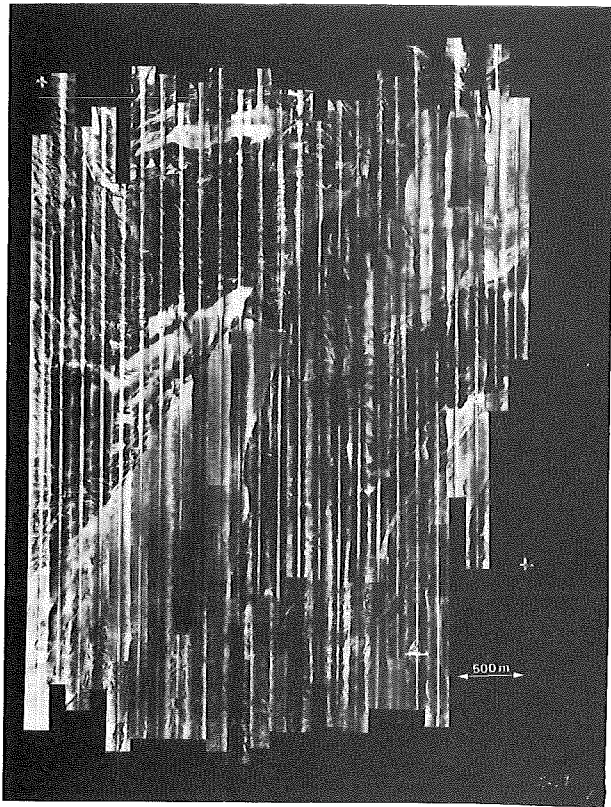


Fig. 10 : Mosaïque sonar de la région de Soulac (Gironde) - document IGBA - IFREMER.

IV.3 Détermination des transits sédimentaires par charriage

Une grande partie des plates-formes continentales est couverte de sédiments sableux, qui, sous l'action de la houle et des courants se déplacent par charriage sur le fond, en créant des figures sédimentaires caractéristiques que seule l'imagerie permet de percevoir. Là encore, c'est la réalisation de mosaïques qui donnera les résultats les plus spectaculaires pour reconstituer, de manière très fine (Braud et al. 1985) les directions et sens de transits sableux (fig. 10).

Le traitement d'image permettant de visualiser et mesurer ces figures avec un degré de précision jamais atteint (fig. 11), l'utilisation simultanée de la sismique très haute résolution permettra de reconstituer, en trois dimensions, la géométrie et la dynamique des corps sédimentaires du plateau continental (fig. 12).

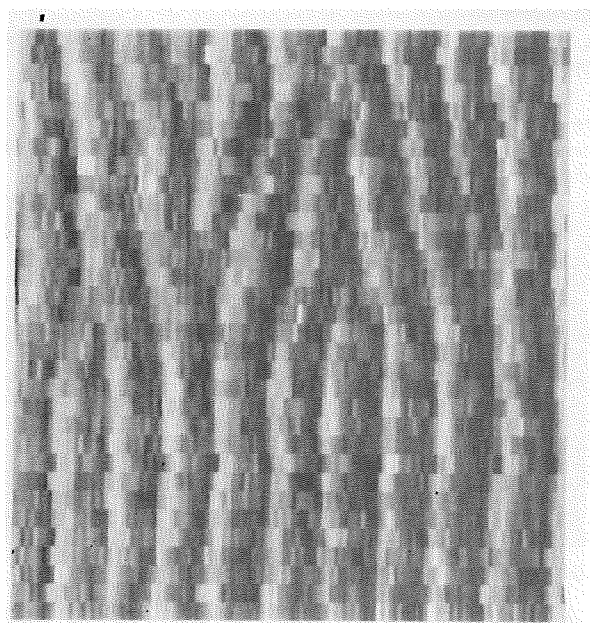
Conclusion

La chaîne d'acquisition et de traitement présentée, réalisée par les équipes techniques de l'IFREMER, offre aux géologues du plateau continental un moyen puissant pour entreprendre des études fines des corps sédimentaires ou des affleurements rocheux à partir de données géophysiques complémentaires étalonnées par prélèvements et prises de vues sous-marines. Ces études à caractère fondamental trouvent des applications dans des problèmes spécifiques aux zones côtières comme l'érosion littorale, le génie civil et la prospection de ressources minérales.

Remerciements

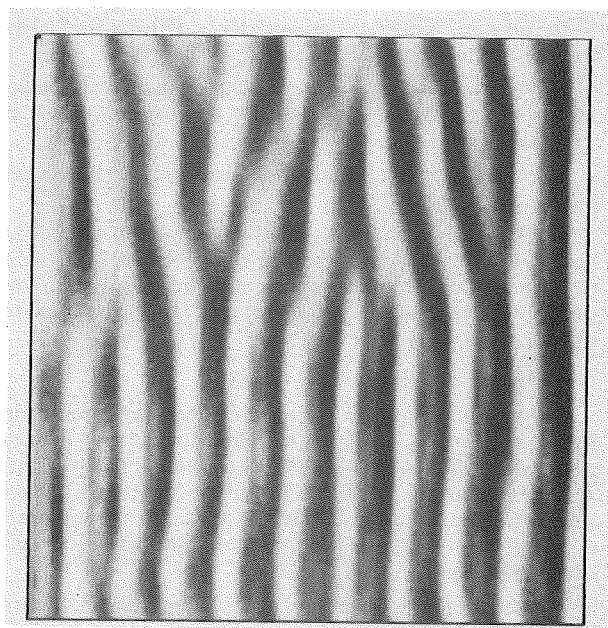
Nous tenons à remercier les services "Adaptation" et "Electronique" de GENAVIR avec qui, nous avons proposé, réalisé et mis en œuvre les systèmes temps réel présentés.

Le traitement de toutes les données produites est rendu possible par les efforts des différentes équipes du Département Informatique de l'IFREMER-Brest.



a

5 m



b

Fig. 11 : Mégarides de houle : a : agrandissement de l'image brute : b : filtrage de Fourier mettant en évidence la structure de ces figures sédimentaires.

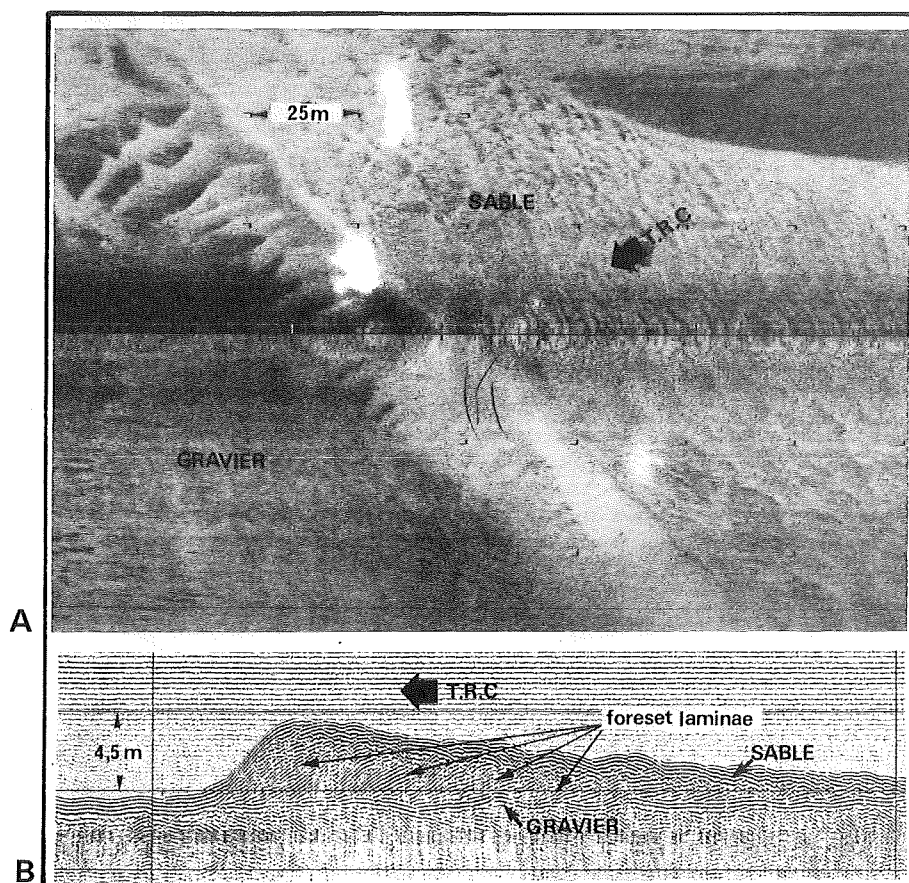


Fig. 12 : Morphologie et structure interne d'un ridin (Cotentin Centre) mises en évidence par l'utilisation simultanée du sonar et de la sismique. L'image sonar montre bien la crête du ridin, l'orientation des mégarides qui le recouvrent et la différence granulométrique. La sismique révèle la dissymétrie de ce corps sableux et les "sets" traduisant sa migration ; TRC : transport résultant par charriage.

REFERENCES

- BRAUD F., BERNE S., WEBER O., 1985. Carte morpho sédimentaire de la passe Sud Gironde. Bull. IGBA Déc. 85, à paraître.
- BERKSON F.M., CLAY C.S. (1973). - Modification apportée aux enregistrements de sonar latéral pour leur donner une présentation sans distorsion. Rev. Hydro. Int. 50 (2), p. 57-61.
- CHESTERMAN W.D., CLYNICK P.R. et STRIDE A.H. (1958) - An Acoustic aid to sea bed survey. Acustica, 8, P. 285-290.
- CHOLET J., FONATANEL A. et GRAU G. (1968). - Etude du fond de la mer à l'aide d'un sonar latéral (1968). Rapport IFP n° 15-712.

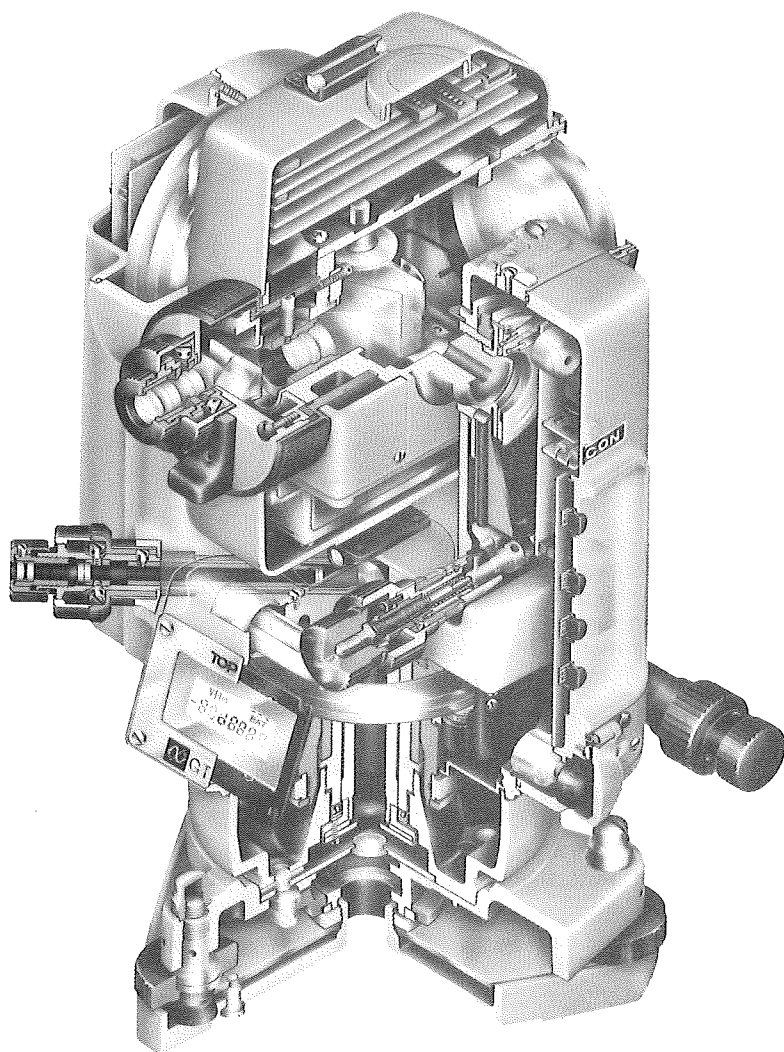
- CLAY C.S., ESS J. et WEISMAN I. (1964). - Latéral echo sounding of the ocean bottom on the continental rise. J. Geophys. Res, 69 (18), p. 3823-3935.
- FLEMMING B.W. (1976). - Guide pratique du sonar latéral. Rév. Hydro. Int., vol. LIII n° 1, p. 73-101.
- GRESSELIN F. (1984). - Contribution du sonar latéral à l'étude de la partie submergée du synclinal de Siouville, DEA, Université de Caen.
- REUT Z., PACE N.G., HEATON M.J.P., 1985. - Computer classification of sea beds by sonar NATURE, vol. 314, n° 6010, p. 426-428.
- SANDERS J.E., EMERY K.O., UCHUPI E. (1969). - Microtopography of five small areas of the continental shelf by scanning sonar. Soc. Am. Bull., vol. 80, p. 561-572.

GTS3

TOPCON

TACHEOMETRE ELECTRONIQUE à cœur ouvert

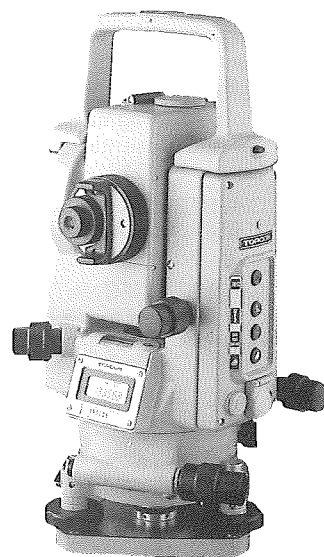
ENREGISTREUR



avec :

FC-2

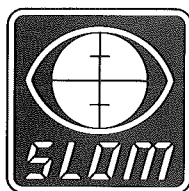
FC-2C



- 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

- 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 cc
- Compensateur automatique du cercle V

Documentation et démonstration sur demande à :



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



GAZETTE DE L'AFT

Région Provence - Alpes - Côte d'Azur et Corse

Compte-rendu de la visite technique et de l'assemblée générale du 6 mars 1986

L'AFT EN VISITE DANS LE LUBERON

Le 6 mars 1986, la section Provence - Alpes - Côte d'Azur et Corse de l'Association Française de Topographie organisait une visite technique du réseau d'irrigation de la vallée du Calavon et du Sud Lubéron. Cet aménagement est concerté entre le Conseil Régional du Vaucluse et la société du Canal de Provence.

C'est donc M. Maurice Daugé, qui tout au long du parcours a donné force renseignements tant techniques qu'économiques : Techniques, car le projet entrepris nécessite la construction de plusieurs stations de pompage, réservoirs de compensation ainsi qu'une galerie sous la montagne du Lubéron. Economiques, car un des buts recherchés est aussi de fixer de jeunes agriculteurs à cette terre du Vaucluse.

Vingt cinq participants à cette sortie qui a permis également d'enregistrer deux nouvelles adhésions.



A l'heure du déjeuner une assemblée générale de la région était prévue afin de renouveler le bureau, M. Pierre Second ayant manifesté le désir de ne plus se représenter après six années de Présidence. C'est donc M. Albert Guiraud qui a été élu Président Régional à l'unanimité.

L'Assemblée Générale terminée, un excellent déjeuner était pris à l'auberge "Lou Revenent" à Coustellet et le groupe se séparait à 17 h à Aix-en-Provence. PROCHAINE SORTIE, le centre de télémétrie laser sur satellites CERGA à Grasse (06), prévue le 25 septembre 1986.

SPOT 1 : PREMIERS RESULTATS EN VOL : COLLOQUE, TOULOUSE, 17-19 DECEMBRE 1986

Colloque organisé par le CNES et SPOT IMAGE dans le but de présenter une première synthèse des résultats obtenus en vol : qualité radiométrique et géométrique des images, bilan des premiers mois d'exploitation opérationnelle, perspectives d'évolution du système, premiers résultats d'utilisation thématique des images.

Parrainage de l'Association Aéronautique et Astronautique de France, de la Société Française de Photogrammétrie et de Télédétection, de l'Association Française de Topographie.

Langues de travail (avec traduction simultanée) : français et anglais.

Droit de participation : 1 800 F (comprenant les repas de midi, le recueil des résumés et la publication ultérieure du Colloque).

— Informations sur le programme : Mme C. Le Cochenec, SPOT IMAGE, BP 4359, 31030 Toulouse Cedex. Tél. : 61.27.48.02.

— Inscriptions : Mme A. Gigon, SOCFI, 14, rue Mandar, 75002 Paris. Tél. : 42.33.89.94.

L'Art de lever les Plans

De tout ce qui a rapport à la guerre et à l'architecture civile et champêtre par M. Dupain de Montesson Capitaine d'Infanterie, Pensionnaire du Roi et Ingénieur de ses Camps et Armées.

Moyen trivial dont on se sert pour avoir à peu près la largeur d'une rivière.

125. Dans une marche précipitée on a quelquefois besoin à l'armée de connoître la largeur d'une rivière, afin de juger de la quantité de *portions* qu'il y faudra lancer pour la traverser, & on n'est pas toujours pourvu des instrumens qui sont nécessaires



210 L'ART DE LEVER

pour cela, ou, comme on le suppose, on n'a pas assez de tems pour faire cette opération; mais en toutes choses la nécessité donne des méthodes assez bonnes; pour cet effet, étant sur le bord de la rivière, le chapeau *détrouffé*, on regarde directement son autre rive, de manière que le rayon visuel rase le bord du chapeau; alors retournant la tête sans la hausser ou la baisser, on apporte ce rayon visuel sur la rive où l'on le trouve; enforte que mesurant au pas ou autrement sa longueur, on a à peu près la largeur de la rivière.

D'après "le nouveau dictionnaire de Poche par Catineau" (An X)

Trivial : commun, usé, rebattu

Détrousser : détacher ce qui était troussé.

Troussé (bien) : bien fait, joli, propre, bien proportionné.

Les lecteurs d'XYZ sont invités à nous fournir d'autres documents comme celui qui nous a été envoyé par P. Bastard AFT n° 85 sur l'art de lever les plans.

Premier Colloque National de l'Académie des Sciences sur la Figure de la Terre (29 au 31 janvier 1986), Palais de l'Institut

(Extrait du compte-rendu* de Mr. H. Lacombe, membre de l'académie des sciences)

L'Académie, en novembre 1984, a décidé d'organiser un Colloque National sur la Figure de la Terre, pour commémorer les travaux des deux Missions de l'Académie envoyées il y a 250 ans, en "Laponie et au Pérou", sous des latitudes très différentes pour y déterminer la longueur d'un degré de méridien (fig. 1) : le sens et une valeur de l'aplatissement du sphéroïde terrestre en sont issus.

Ces deux missions, qui ont eu un grand retentissement scientifique, ont constitué une étape décisive dans la connaissance de la "Figure de la Terre", c'est-à-dire de sa forme d'ensemble. Les techniques spatiales récentes ayant ouvert une nouvelle étape, également décisive, pour la connaissance de cette "Figure", mais vue à une échelle beaucoup plus fine et vue aussi d'un point de vue dynamique, l'Académie a pensé qu'à l'évocation du déroulement des travaux du 18^e siècle, il serait approprié d'ajouter celle des résultats récents obtenus grâce à l'emploi des techniques nouvelles et, notamment, celui des techniques spatiales.

Ce Colloque et une Exposition ont eu lieu dans diverses enceintes du Palais de l'Institut du 29 au 31 janvier derniers : la séance solennelle d'ouverture sous la Coupole, l'Exposition dans une nouvelle salle récemment aménagée, enfin le Colloque proprement dit à la salle Hugot.

Ces manifestations ont été honorées du patronage de Monsieur le Ministre de l'Education Nationale et de Monsieur le Ministre de la Recherche et de la Technologie. Elles ont été aidées par le Ministère de la Recherche et de la Technologie, de l'Institut National des Sciences de l'Univers, de la Délégation aux Célébrations Nationales du Ministère de la Culture, enfin du Centre National d'Etudes Spatiales (CNES).

L'organisation et la tenue de l'exposition n'ont été rendues possibles que grâce à des prêts et à des concours inappréciables :

- pour la partie historique, de l'Observatoire de Paris et plus spécialement de deux des Conservateurs de sa bibliothèque qui ont participé directement à la mise en place des documents et objets présentés, de la Bibliothèque Centrale du Muséum National d'Histoire Naturelle, de la Bibliothèque de l'Institut, du Service des Archives de l'Académie des Sciences, enfin de l'aide pratique d'Académiciens pour la détection et le choix de documents intéressants ;

- pour la partie moderne, le concours du CNES, qui a prêté notamment les répliques de deux satellites, de l'Institut Géographique National et du Groupe de Recherche en Géodésie Spatiale qui ont établi d'intéressants documents, enfin l'aide de diverses personnalités. Une partie des objets qui y ont été présentés ont figuré de nouveau en mai et juillet 1986 à l'Exposition "l'Institut dans le Monde Actuel" au Musée Jacquemart-André.

La séance de commémoration sous la Coupole a été honorée de la présence de Monsieur le Ministre Délégué, Secrétaire d'Etat chargé de la Prévention des Risques Naturels et Technologiques et de celle des Ambassadeurs de Suède, de Finlande et de représentants des ambassades à Paris du Pérou, de l'Equateur et de l'Espagne. Cette séance a été suivie par un public nombreux. Après l'allocution d'ouverture et les adresses des représentants étrangers, furent présentées les deux remarquables conférences de MM. J.-J. Levallois et Jean Kovalevsky. Après une courte visite de l'exposition, la réception au Musée de la Comtesse de Caen réunit les participants.

Le Colloque proprement dit s'est tenu les deux jours suivants à la salle Hugot. Le nombre des inscrits était de 220. Les sessions ont porté alternativement sur les questions historiques et modernes en présence d'auditoires

de 80 à 120 personnes ; l'exposition simultanément ouverte a reçu de nombreux visiteurs.

Les exposés au Colloque ont compté cinq conférences invitées sur des sujets historiques et neuf pour la partie moderne ; les communications ont été au nombre de sept pour la partie historique et de six pour la partie moderne : soit en tout vingt-sept présentations.

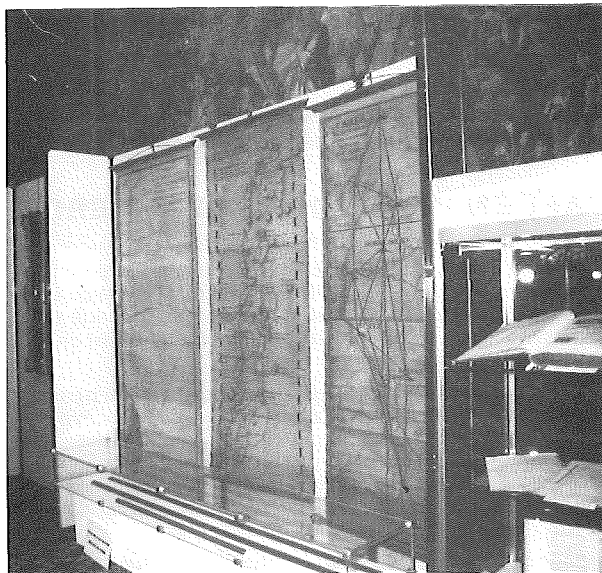


Fig. 1. - La triangulation de Laponie et celle du Pérou (Rouleaux), Bibliothèque de l'Institut.

Quelques traits paraissent utiles à dégager de ce premier colloque de l'Académie :

- le colloque a suscité un grand intérêt parmi les auditeurs, dans les deux aspects retenus, historique et scientifique, avec semble-t-il, des auditoires en bonne partie différents : l'exposition pouvait accueillir les participants moins directement intéressés par un exposé. Quoi qu'il en soit, pour de tels sujets assez généraux, comme celui de la "Figure de la Terre", un public intéressé existe ; la conjonction des aspects historiques et modernes semble attractive ;

- la qualité des exposés a été appréciée. Les exposés modernes, traitant de la science qui se fait et présentés souvent par de jeunes chercheurs de talent ont été excellents : l'Académie ou ses sections n'ont pas l'occasion d'entendre souvent de tels exposés. Des personnalités plus chevronnées ont présenté des vues synthétiques très intéressantes sur l'ensemble des problèmes physiques liés à la "Figure de la Terre".

Les travaux feront l'objet de publications. Deux voies sont prévues :

- une évocation dans les prochains fascicules de la "Vie des Sciences" : série générale - le prochain numéro contiendrait l'allocution du Président à la séance d'ouverture, les adresses des représentants étrangers ainsi que les résumés de tous les exposés. Les deux numéros suivants présenteraient les conférences de MM. Levallois et Kovalevsky ;

- ensuite, seraient publiés les Actes du Colloque, c'est-à-dire l'ensemble des exposés présentés et un résumé des discussions.

Lire l'article de Stéphane Deligeorges. "Les Figures de la Terre". Colloque de l'académie des sciences sur le 250^e anniversaire des expéditions du Pérou et de Laponie pour mesurer la Terre. "Sciences et Avenir", n° 469, mars 1986.

* Revue "Les Nouvelles de l'Académie" - Février 1986

Saviez-vous que... Saviez-vous que... Saviez-vous que... Saviez-vous que... Saviez-

qu'il y a 300 ans... naissent

— Jean Sébastien Bach (1685-1750), virtuose du clavecin et de l'orgue, le plus fécond en œuvres musicales et en progéniture (20 enfants), célèbre, entre autres, par ses "Passions", "Oratorios" et "Cantates".

— Georg Friedrich Haendel (1685-1759), compositeur allemand naturalisé Anglais, connu pour sa "Water Music" (1716).

que depuis 250 ans existe

— Le Cadastre de la Principauté de Clèves (Westphalie)

qu'une exposition dite "La Découverte du Monde" a eu lieu au Centre Culturel Canadien de Paris ; présentant une fabuleuse collection de cartes anciennes, ainsi que des instruments de navigation centenaires.

Elle s'est achevée le 23 mars 1985.

MEDITONS SERIEUSEMENT...

— **Sur le verdict** sévère prononcé par M. Konosuka Matsushita, conseiller exécutif à Matsushita Electric Industrial Co.Ltd, paru récemment dans le n° exceptionnel de Sciences et Techniques sur "La Révolution de l'Intelligence".

Nous allons gagner et l'Occident industriel va perdre : vous n'y pouvez plus grand chose, parce que c'est en vous-mêmes que vous portez votre défaite.

Vos organisations sont tayloriennes ; mais le pire, c'est que vos têtes le sont aussi. Vous êtes totalement persuadés de faire bien fonctionner vos entreprises en distinguant d'un côté les chefs, de l'autre les exécutants ; d'un côté ceux qui pensent, de l'autre ceux qui vivent.

Pour vous, le management c'est l'art de faire passer convenablement les idées des patrons dans les mains des manœuvres.

Nous, nous sommes post-tayloriens : nous savons que le business est devenu si compliqué, si difficile et la survie d'une firme si problématique, dans un environnement de plus en plus dangereux, inattendu et compétitif, qu'une entreprise doit chaque jour mobiliser toute l'intelligence de tous pour avoir une chance de s'en tirer.

Pour nous, le management, c'est précisément l'art de mobiliser et d'engager toute cette intelligence de tous, au service du projet de l'entreprise. Parce que nous avons pris, mieux que vous, la mesure des nouveaux défis technologiques et économiques, nous savons que l'intelligence de quelques technocrates — si brillants soient-ils — est dorénavant totalement insuffisante pour les relever.

Seule l'intelligence de tous ses membres peut permettre à une entreprise d'affronter les turbulences et les exigences de son nouvel environnement.

C'est pour cela que nos grandes sociétés donnent trois ou quatre fois plus de formation à tout leur personnel que ne le font les vôtres ; c'est pour cela qu'elles entretiennent en leur sein un dialogue et une communication si denses, qu'elles sollicitent sans cesse les suggestions de tous et surtout qu'elles demandent — en amont — au système éducatif national de leur préparer toujours plus de bacheliers, de généralistes éclairés et cultivés, terreau indispensable à une industrie qui doit se nourrir d'intelligence permanente.

Vos "patrons sociaux", souvent gens de bonne volonté, croient qu'il faut défendre l'homme dans l'entreprise. Réalistes, nous pensons à l'inverse qu'il faut faire défendre l'entreprise par les hommes et que celle-ci leur rendra au centuple ce qu'ils lui auront donné. Ce faisant, nous finissons par être plus "sociaux" que vous.

— **Et sur la proposition**, qui semble une réponse, de M. Jacques Maisonrouge dans son article "Aux jeunes de jouer" paru dans le Figaro-Magazine :

APPRENDRE PLUS

Hâtons-nous d'apprendre plus : notre culture, elle aussi, est en péril pour s'être repliée sur elle-même, pour refuser les apports extérieurs et exporter moins. Pour promouvoir une culture, il faut la propager. Je crains que notre société parcellisée ait conduit

à un rassemblement de ceux qui n'ont jamais pu comprendre le "quantitatif". Leur défense est alors de rejeter l'innovation, la création et l'esthétique de la science pour se complaire dans le subjectif.

Il faut un grand chambardement. La France souffre de la division du pays en trois grands groupes : l'administration, le gouvernement, les élus ; l'université et l'éducation nationale ; l'industrie et tous ceux qui produisent des biens et des services, y compris, bien sûr, les agriculteurs.

Pour prendre une image d'électronicien, je dirais que tous les circuits français comprennent des diodes : la diode est un composant électronique qui ne laisse passer le courant électrique que dans un sens. Ainsi les cadres — et la remarque peut probablement être généralisée — peuvent passer de l'administration vers le secteur privé, de l'université vers le privé, à la rigueur de l'université ou du privé vers des fonctions électives, mais presque jamais du privé vers l'administration ou l'université.

CULTIVER LA MOBILITE

C'est ce système qu'il faut changer pour rendre la société française mobile. Il est mauvais et nuisible au bon fonctionnement de "l'entreprise France", que, sous prétexte qu'un jeune a brillamment réussi un concours puis des examens, sa carrière soit pratiquement tracée jusqu'à l'âge de la retraite. C'est démotivant, cela crée routine et bureaucratie, cela supprime le courage.

De surcroît, personne n'a jamais démontré que les qualités nécessaires à la conduite des affaires, à la gestion des ressources humaines, au dynamisme de la croissance, dans le service public ou dans le secteur privé, soient les mêmes que celles nécessaires à la réussite d'un concours. Après l'obtention d'un diplôme qui ne devrait être qu'une condition favorable, il est nécessaire que les Français acceptent de se surpasser et de prendre des risques. Il faut que chacun — fonctionnaire ou employé du secteur parapublic ou privé — sache que tout au long de sa carrière, il devra se justifier chaque jour. Le maintien à un poste doit être associé à la crainte de le perdre. La société française est figée, rigide. Il faut la rendre mobile et en faire une société à risques en rejetant le confort du passé et des droits acquis.

Je suis absolument partisan de l'égalité des chances. Mais une fois que l'on a tout fait pour donner aux jeunes hommes et aux jeunes femmes de notre pays les atouts nécessaires à la réussite, il faut leur laisser jouer leurs cartes, seuls. Je ne doute pas que toutes ces difficultés puissent être résolues. Il faut prendre les risques que ne prendront plus ceux qui sont arrivés à leur poste par les attitudes du passé.

Les jeunes paraissent prêts à accepter ce grand changement, même si leurs aînés, pour se protéger, ne l'appliquent qu'aux générations suivantes.

GEODÄTIKA 86 "GEODÄSIE IM DIENSTE DER GESELLSCHAFT"

NUREMBERG - 3-6 septembre 1986

Dipl. Ing. Horst BISCHOFF, c/o Flurbereinigungsdirektion, Philipp - Zorn - Strasse 37, DE - 8800 ANSBACH.

ETH

125 JAHRE SCHWEIZERISCHE GEODÄTISCHE KOMMISSION
100 JAHRE ABTEILUNG KULTURTECHNIK UND VERMESSUNG ETH - ZÜRICH.

12 et 13 septembre - ZÜRICH

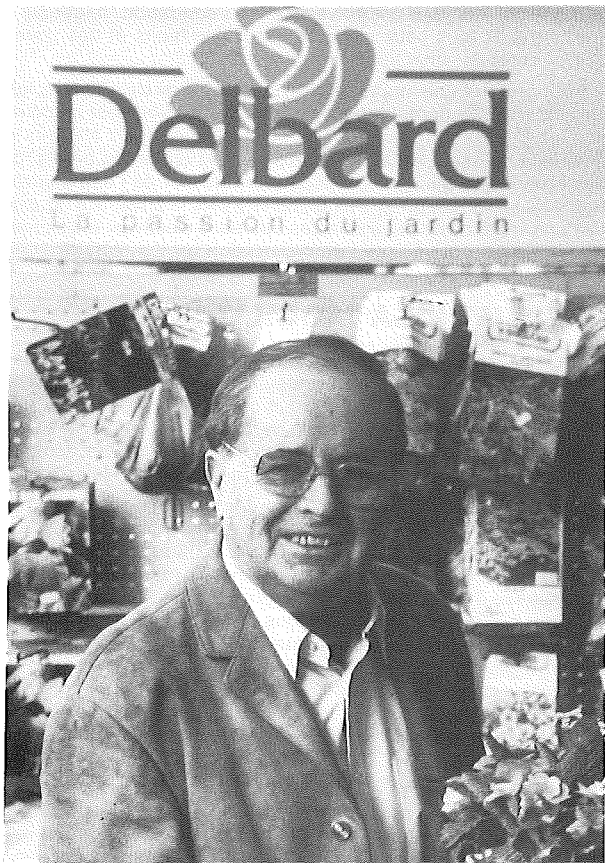
Demandes d'emplois

Technicien géomètre topographe, 31 ans, terminant formation AFPA Meaux fin juin **recherche emploi à l'étranger ou à Paris** ou intérim. Libre début juillet. Ecrire à Michel Boutaud, 67, quai de la Seine, 75019 Paris.

BIBLIOGRAPHIE

HACHETTE Littérature

JARDINIER DU MONDE DE GEORGES DELBARD



John Foley, photographe, 22, rue des Fossés Saint-Bernard, 75005 Paris.

L'auteur : à l'occasion du cinquantenaire de sa firme — et pour ses quatre fois vingt ans — l'homme se révèle. Il retrace ici le cheminement exemplaire d'un fils de la terre que rien — hors sa passion des plantes et son formidable enthousiasme — ne destinait à occuper la première place de l'horticulture mondiale.

Le livre : Georges Delbard l'a voulu différent dans sa conception : en le rédigeant comme une suite de 260 séquences titrées, dont plus de 800 documents personnels et historiques illustrent et authentifient le texte (un "héros" exemplaire, des rencontres, des personnages) ;

— en y retraçant l'évolution de la vie rurale de sa région natale, telle qu'il l'a vue et vécue depuis le début du siècle (quatre-vingts ans d'histoire "sur le terrain") ;

— en donnant, au fil du déroulement de sa carrière, des conseils pratiques à tous ceux qui aiment les plantes et les fleurs (l'avis d'un grand professionnel) ;

— en révélant les possibilités et les lacunes de l'agriculture et de l'horticulture de nombreux pays, notamment du Tiers Monde (l'expérience unique d'un expert international) ;

— en esquissant, enfin, le devenir de l'horticulture à travers l'application des découvertes en biotechnologie (des perspectives d'avenir).

En parlant des activités de son frère Robert géomètre-expert à Cachan et en particulier du "cadastre vert" inventaire des essences des arbres permettant d'en faire un état sanitaire.

Un récit à la première personne, au style simple et direct, l'histoire authentique d'un homme qu'anime toujours "la rage de progresser pour vaincre".

Préface par le professeur Jean Bernard de l'Académie Française.

Voici l'ouvrage qu'attendaient les amoureux des jardins et des livres. Un livre vrai... et beau !

En attendant son prochain livre racontant l'histoire de ses fleurs préférées "les roses" !

Un volume relié format 19 × 24.

Couverture pleine toile sous jaquette quadri.

672 pages, 805 photos et documents en NB et couleur.

Revue METROPOLIS

N° 70-71 — 4^e trimestre 1985

8, rue de la Cossonnerie - 75001 Paris

LA TELEDETECTION SATELLITAIRE SPOT, AMENAGEMENT ET PIXELS

Directrice scientifique du numéro Aline Chabreuil

Collection Lettres Françaises Imprimerie Nationale

LA FONTAINE FABLES

"Maître corbeau sur un arbre perché..."

"La cigale ayant chanté tout l'été..."

Qui ne pourrait continuer ces deux vers par lesquels leur auteur "osait espérer", lors de leur publication, "une seconde vie"...

Mais pourquoi avoir choisi la forme de la fable et ses canevas narratifs interprétés et réinterprétés depuis des millénaires ? Marc Fumaroli dans son commentaire de l'œuvre montre que La Fontaine "retrouve" la fable en lui donnant une forme neuve, inattendue et révélatrice. "L'air et le tour un peu différents", disait-il lui-même, se présentant comme le traducteur d'une tradition dont il sert le sens, et d'autant mieux qu'il en rajeunit l'énoncé.

La Fontaine se fait l'interprète d'Epicure, il est le "maître du jardin", le "saint" de la philosophie du plaisir, l'inspirateur d'une longue conversation avec le lecteur des Fables. Car La Fontaine a établi un véritable concert de voix à l'intérieur de la voix du poète qui s'adresse toujours à un interlocuteur, à un auditeur qu'il tient pour "son semblable, son frère".

Ainsi, l'art du conteur est d'avoir su peindre un monde d'animaux où les passions, la violence, la mort sont rendues supportables par le brio de la diction, l'agrément du récit, les traits de gaieté, ménageant une distance esthétique entre la vérité des "choses de la vie" et les sentiments délicats de ses auditeurs.

Tour à tour conteur et fabuliste, il apprivoise en artiste ses auditeurs ou les rappelle, en moraliste, à la vérité de la vie humaine, trouvant un équilibre entre ces deux voix : l'une modulée et charmante, l'autre impitoyable.

Marie Hugo a élaboré pour cette édition quatorze gouaches pleines de naïveté et de couleurs, ainsi que de nombreux petits dessins à la plume.

Deux volumes de 444 et 468 pages, format 16 × 22 cm, reliés cuir rouge à grain fleurs croisées. Composition à la main en Garamont, caractère exclusif de l'Imprimerie Nationale.

Imprimerie Nationale, 27, rue de la Convention, 75732 Paris Cedex 15.

HERMÉ

JEAN-LOUP CHIFLET

SKY MY HUSBAND ! CIEL MON MARI !

Guide de l'anglais courant ou de cuisine.

Dessins de Clab.

CARTE MICHELIN
N° 911 "FRANCE - GRANDS ITINERAIRES"
(Edition 1986)

La carte Michelin n° 911 apporte à la cartographie routière traditionnelle, qui exprime les distances en kilomètres, une dimension nouvelle, par l'indication précise de ces mêmes distances en minutes de conduite.

CHOISIR SON ITINERAIRE

Pour aller d'Orléans à Lyon, vaut-il mieux passer par Bourges et Roanne (liaison la plus courte en kilomètres) ou par Auxerre et l'autoroute A6 (liaison la plus rapide en temps de conduite), c'est-à-dire privilégier la rapidité ou la consommation ?

Où se renseigner sur les éventuels chantiers avant de partir ? Le trajet peut-il se faire de nuit sans risque de "panne sèche" ? Chacun l'a déjà constaté, le chemin le plus court n'est pas nécessairement le plus rapide ni le plus économique...

Les Services de Tourisme Michelin, s'appuyant donc sur leur longue expérience de la route et sur de nombreux tests, fournissent sur cette nouvelle carte des **temps de parcours précis et fiables** adaptés à chaque tronçon d'itinéraire en fonction des conditions de roulage et des obstacles. Ce sont ceux d'une voiture de tourisme moyenne (6/7 CV) qui respecte, bien entendu, les limitations et les règles de sécurité. Tous les facteurs accidentels ou individuels (pluie, travaux, arrêts divers) sont à intégrer en supplément au temps indiqué.

Pouvoir choisir par lecture directe l'itinéraire le plus approprié et se mettre ainsi à l'abri des mauvaises surprises, c'est un atout évident de **sécurité**.

ECONOMISER SON TEMPS... ET SON ARGENT

Quels jours de "pointe" dois-je éviter ? Si j'accepte le risque de "bouchons", des itinéraires Bis peuvent-ils m'aider ? Combien vais-je dépenser d'essence ? Dois-je prévoir une nuit à l'hôtel ?

Chacune de ces questions engage une dépense, en carburant, en kilomètres, en temps de route. Pouvoir y répondre avec précision grâce aux informations de cette carte, c'est déjà maîtriser son budget, donc finalement dépenser moins, puisque le temps, c'est aussi de l'argent.

La carte 911 est ainsi, à l'évidence, un outil **d'économie**.

Cette édition 1986 présente le réseau d'itinéraires routiers que les Français vont rencontrer tout au long de cette année pendant leurs congés et leurs déplacements. Elle peut les aider à

une nouvelle façon de conduire, plus souple, plus sûre, plus économique.

Avec la carte Michelin 911, ils joueront vraiment **"la carte du temps gagné"**.

Prix public : 15,65 F (soit l'équivalent de 3 à 4 litres d'essence, à peine 50 km d'autonomie !).

OLIVIER ORBAN
PIERRE ZEMOR

UN BON CONSEIL

Les décideurs, de plus en plus, s'entourent d'experts, de consultants, d'audits, de conseillers.

Qu'apporte un bon conseil ? Des connaissances, des méthodes ? Des outils et des attitudes ?

Comment le choisir ? Spécialiste ou généraliste ? Directif ? Complice ?

Et quel rôle joue-t-il ? Mercenaire ? Technocrate ? Agent de changement dans la société ?

Pierre Zémor propose de multiples regards sur un métier d'action et d'influence.

Le conseil est un médiateur. Qu'il intervienne auprès du dirigeant d'entreprise, du directeur d'usine, du responsable du marketing, du haut fonctionnaire ou de l'homme politique, c'est un *go between* entre les individus, les fonctions, les institutions... entre la théorie et le réel.

Naturel alors de s'interroger sur la responsabilité du conseil, sur la tentation d'emprise que peut lui procurer son autorité d'expert.

Ses interventions auprès des patrons et des leaders ne sont-elles pas des incursions aux marges du pouvoir ? Et le conseil un pouvoir qui ne dit pas son nom ?

Facile à lire, bourré de recettes pratiques extrêmement astucieuses, un livre, en bref, de "bon conseil" pour toutes sortes de décideurs.

Professeur de politique et stratégie d'entreprise à HEC et à l'ISA, Pierre Zémor a une expérience de vingt années de conseil (stratégie, organisation, communication). Egalement dirigeant et administrateur d'entreprises, il a été récemment, durant quatre ans, chargé de mission auprès du ministre du Plan et de l'Aménagement du territoire, puis de l'Agriculture. Il est élu local.

NOUVELLES DE L'A.F.T.

**Assemblée générale extraordinaire
de l'Association Française de Topographie
CONVOCAATION**

Les membres de l'Association Française de Topographie sont convoqués en Assemblée Générale Extraordinaire, en deuxième convocation,

le MERCREDI 29 OCTOBRE 1986 à 17 HEURES

**dans les locaux de l'Ecole Spéciale des Travaux Publics (ESTP)
à CACHAN (94) station CACHAN/sortie sud, ligne RER B sud**

Sur le même ordre du jour que celui de la première convocation à l'Assemblée Générale Extraordinaire du 25 avril 1986 qui n'avait pas pu réunir le quorum exigé par les statuts.

Ordre du jour :

Modification des statuts de l'Association. Article 14. Conseil. Le nombre des membres nationaux du Conseil est porté de 12 à 18 au plus.

APPEL DE CANDIDATURE, MEMBRE NATIONAL DU CONSEIL de l'A.F.T.

Le conseil de l'Association Française de Topographie a décidé, si l'Assemblée Générale Extraordinaire convoquée pour le 23 octobre 1986 ratifie la proposition d'augmenter le nombre des membres nationaux du conseil, de porter de 12 à 15 le nombre des membres nationaux du conseil.

Trois postes de membres du conseil seront ainsi à pourvoir.

Il est rappelé que tout membre de l'Association peut faire acte de candidature (personne physique uniquement). Les candidatures doivent être adressées au siège de l'Association par simple lettre postée avant le 31 octobre 1986.

La Chambre Syndicale Nationale des Bureaux d'Etudes Topographiques Privés communique :

UNE ACTIVITE LEGALEMENT RECONNUE : LA TOPOGRAPHIE

En sa séance du lundi 16 décembre 1985, l'Assemblée Nationale a adopté définitivement la Loi portant amélioration de la concurrence dont un article met en cause le monopole de l'Ordre des Géomètres sur l'exercice de la Topographie.

Cet article avait pour objet la rectification d'une erreur matérielle commise en 1946 lors de la rédaction définitive de la Loi. Cette erreur matérielle a été reconnue par Monsieur le Médiateur National, par une Commission Interministérielle constituée sous l'égide du Ministère de l'Education qui exerçait la tutelle sur cette profession et également par la Délégation aux Professions Libérales présidée par Monsieur le Professeur Luchaire.

Les effets de l'article voté se bornent ainsi à rétablir la possibilité d'une sanction pénale pour l'exercice illégal de la profession de Géomètre-Expert sur les actes touchant au statut de la propriété foncière tel que le prévoyait le rapport de présentation de la loi de 1946 libellé en ces termes :

"L'urgence du projet de loi présenté à votre approbation se fait d'autant plus patente que les services de reconstruction doivent faire exécuter sur le terrain d'innombrables travaux en vue de projets de remembrement et d'urbanisme.

Un certain nombre de ces travaux, il est vrai, peuvent être exécutés, sans faire appel au géomètre, par des spécialistes topographes : mais, lorsque certains actes touchent au statut de la propriété foncière, à son étendue, à son partage, à sa délimitation et par conséquent doivent être appuyés sur des plans parcellaires, sur des constats de limites ou des arbitrages, il est indispensable de faire appel au géomètre compétent, honoraire et indépendant".

L'article en question avait été ajouté au projet de loi en discussion par un amendement introduit en deuxième lecture, le 6 décembre 1985.

Ce processus a fait l'objet d'une saisine du Conseil Constitutionnel. Par sa décision du 28 décembre 1985, ce dernier a clos le débat en déclarant conforme à la Constitution la Loi portant amélioration de la concurrence en

"considérant que la Loi soumise à l'examen du Conseil Constitutionnel a pour objet l'amélioration de la concurrence ; que les dispositions de l'article 9 qui réduisent le monopole des Géomètres-Experts en modifiant le champ de la protection pénale des activités relevant de cette profession ne sont pas dépourvues de tout lien avec les autres dispositions du projet de Loi ; que, dès lors, elles pouvaient être introduites dans ce projet par voie d'amendement sans que soient méconnues les règles posées par les articles 39 et 44 de la Constitution".

La Loi portant amélioration de la concurrence a été promulguée au Journal Officiel du 30 décembre 1985.

Même lorsqu'un monopole repose sur une ambiguïté, il n'est pas facile de le voir s'échapper... Sans doute pour cette raison, l'Ordre des Géomètres ou certains de ses membres ont cru bon d'alerter l'opinion publique par lettres, articles ou déclarations interposées.

En vérité, le vote de cette loi tend à régulariser la situation d'un grand nombre de bureaux d'études topographiques travaillant depuis de longues années sous la menace d'une sanction pénale ; cette sanction abusive étant rendue légale par l'application d'un texte de référence jusqu'alors erroné. Par là même, la situation des administrations, des services publics et autres clients, qui confient des travaux à ces bureaux topographiques se trouve normalisée.

Ce même vote légalise le monopole de la spécialité des Géomètres-Experts et le protège par des sanctions pénales dont il était dépourvu. Ce monopole est défini au paragraphe 2 de l'article premier et par voie de conséquence à l'article 2 de la Loi du 7 mai 1946 ainsi libellés :

"A titre spécial, fixe les limites des biens fonciers, procède à toutes opérations techniques ou études sur l'évaluation, le partage, la mutation ou la gestion de ces biens".

"Les géomètres-experts diplômés par le Gouvernement ont seuls qualité pour effectuer les opérations prévues au paragraphe 2 de l'article premier lorsque ces opérations ont pour but l'établissement de procès-verbaux, plans de bornage et autres plans destinés à être annexés à des actes authentiques, judiciaires ou administratifs pour constats, états des lieux ou division des biens fonciers".

Contrairement à certaines allégations, il y a une convergence évidente entre cette situation nouvelle et le vœu du Législateur tel qu'il émane de l'exposé des motifs ci-dessus.

La clarification de la situation juridique des Bureaux d'Etudes Topographiques donne à notre Chambre Syndicale des responsabilités nouvelles dans l'organisation de notre profession.


Dès sa création, soucieuse de la qualité du travail exécuté et livré, elle a imposé à ses membres des critères techniques d'admission. Parce qu'ils ont permis une prestation de qualité, ces critères seront maintenus tandis qu'un enseignement et une formation continue propres aux techniques spécifiques de notre profession de Topographes seront développés.

Afin de mieux contrôler le sérieux des Topographes désirant adhérer à notre Chambre, l'Assemblée Générale Extraordinaire du 7 février dernier a adopté d'une part, le principe d'une adhésion provisoire de 2 ans, et d'autre part, la création d'une commission de discipline qui aura entre autre : la mission de faire sanctionner les manquements aux règles de l'Art dans l'exécution des travaux topographiques.

Merci à tous ceux qui ont déjà apporté et qui continueront à témoigner leur confiance à notre Chambre Syndicale et à ses adhérents.

Chambre Syndicale Nationale
des Bureaux d'Etudes Topographiques Privés
8, rue Jean Goujon 75008 Paris

(*) La parution de ce communiqué a été autorisée par le conseil d'administration de l'Association Française de Topographie et par le comité de lecture de la revue XYZ.



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

 **347.15.92**

Mesure de flèche d'un radier par nivellement hydrostatique

par Michel ALVERGNAT

SUMMARY. — For nuclear power station, at the end of building reactor construction, it must be done a pressure test inside all the structure.

In order to know exactly settlement between center and circumference of raft foundation bred by the pressure, we have to set up a telemetrical equipment inside the bulding.

This system consists on two hydrostatic tanks filled with water, linked by a plastic pipe.

The variation of level inside tanks are caught by captors (range = 1 cm ; accurary = 644 mwolt/mm) which send inducted current signal to a computer outside the building reactor.

Results have permitted to know the variations of compression under raft foundation, during the pressure test.

La nécessité de connaître le suivi des ouvrages pose quelquefois des problèmes aux topographes qui ont pour habitude de mesurer directement avec des instruments classiques, soit des formes de terrain ou d'ouvrage, soit les mouvements de ceux-ci.

MESURE DE LA FLECHE DU RADIER PENDANT L'EPREUVE ENCEINTE DU REACTEUR 1

Pot n° 1

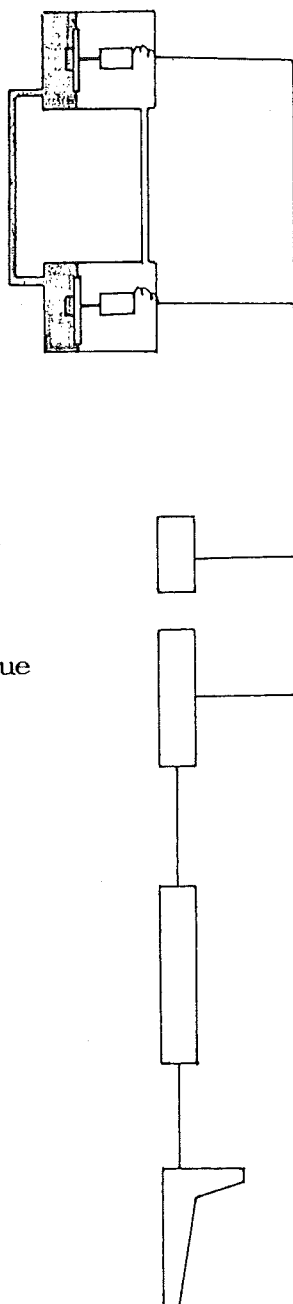
Pot n° 2

Alimentation 24 V

Module électronique
4 canaux

Multiplexeur

Calculateur



Le site de Nogent-sur-Seine où sont en construction 2 tranches nucléaires PWR de 1 300 MW, n'échappe pas à ces exigences.

Le problème posé est celui de la mesure de la flèche entre le centre et la périphérie du radier d'un réacteur, pendant la période d'essai de mise en pression de l'enceinte.

Cet essai d'épreuve enceinte consiste à gonfler le bâtiment réacteur, en passant par des paliers successifs, jusqu'à 4,2 bars, et de mesurer l'étanchéité du bâtiment.

Pour quelle raison la flèche du radier pendant cet essai est-elle à mesurer ?

Tout simplement pour confirmer le calcul de cette flèche, car pendant l'essai de gonflement, la déformation au centre du radier provoque un écrouissage supplémentaire du sol sur lequel repose le réacteur ; la connaissance de l'ensemble des contraintes au sol sous le réacteur est importante.

Par ailleurs, il faut noter qu'à l'intérieur du radier, un système d'auscultation altimétrique est installé dans la galerie périphérique.

Ce système est opérationnel depuis l'origine de la construction et cela jusqu'à la fin du fonctionnement de la centrale.

Pendant l'essai, 8 mesures d'auscultation ont été réalisées.

L'inaccessibilité du centre du radier pendant l'épreuve enceinte nous a donc conduits à adopter un dispositif par télémesure ; celui-ci a l'avantage de numériser en continu l'évolution de la flèche du radier, en fonction de la pression de gonflage (vitesse de gonflage : environ 80 mb/h ; dégonflage : environ 100 mb/h).

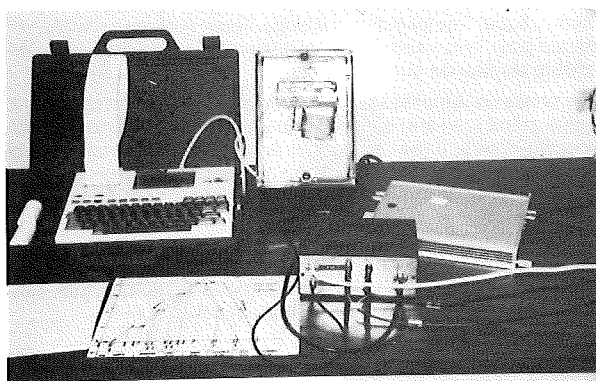
La recherche d'un matériel opérationnel nous a conduits au CERN (Centre Européen pour la Recherche nucléaire).

Cet organisme a développé, pour ses propres besoins, un pot de mesures hydrostatiques, aux caractéristiques suivantes : plage de mesure 1 cm - sensibilité des capteurs 644 mvolt/mm.

Ce matériel est normalement étanche ; notre hantise était qu'il ne supporte pas la pression nominale de l'essai.

Le déroulement satisfaisant de l'épreuve nous prouvera que nos craintes n'étaient pas fondées.

L'interface entre les pots de mesure et le calculateur était assurée par le Département Mesures de la Société Simecsol.



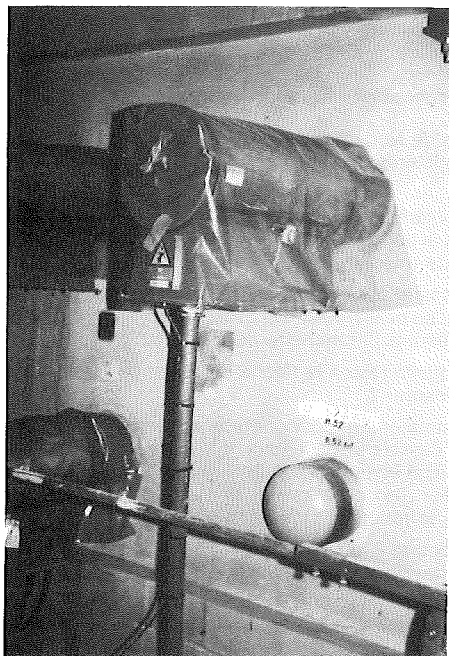
Chaîne de mesure

Afin de tester le fonctionnement de la chaîne de mesure, l'installation du matériel a été réalisée 8 jours avant la fermeture du réacteur ; nous nous soucions de savoir si ce matériel, essen-

tiellement conçu pour fonctionner en Laboratoire, risquait de subir des dommages occasionnés par le travail des monteurs mécaniciens ou des personnes chargées du nettoyage du bâtiment avant sa fermeture.

La partie la plus délicate se trouvait être la liaison hydraulique, d'une trentaine de mètres, entre les deux pots de mesures ; heureusement il n'y eut pas de problème et, au jour J, l'installation était opérationnelle.

La mesure s'effectue par différence de niveau hydraulique, à l'intérieur de deux pots hydrostatiques reliés entre eux par une tuyauterie.



Traversée électrique étanche

A l'intérieur de chaque pot de mesures, le noyau plongeur du capteur est en contact avec le flotteur. Les variations du niveau du flotteur, transmises au capteur, génèrent un courant induit envoyé au multiplexeur.

La somme algébrique de la différence voltométrique du courant issu de chacun des capteurs, par rapport à la mesure initiale en début d'essai, après étalonnage de la chaîne électronique, est traduite en millimètres.

$$\Delta H = (I1_0 - I1_n) - (I2_0 - I2_n) \times \text{constante}$$

Le ΔH mesuré donne donc directement la variation relative (en mm) du centre du radier par rapport à la périphérie.

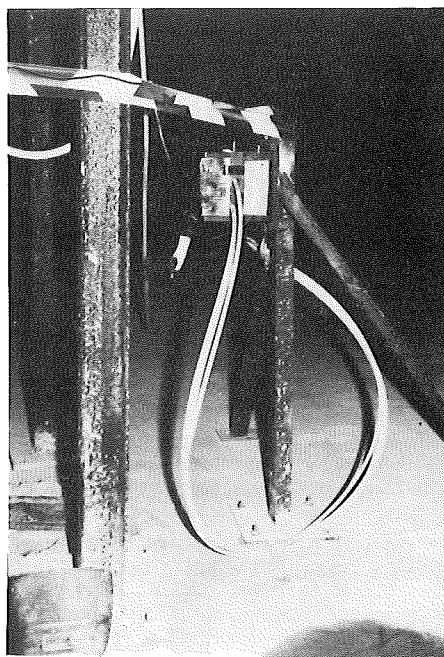
Les pots de mesures sont montés sur des supports en acier, fixés au sol et confortés par des étais afin que les capteurs ne subissent aucune vibration.

Deux liaisons relient physiquement les pots de mesures : l'une "gaz" pour équilibrer les pressions dans les deux pots, l'autre "hydraulique" remplie d'un mélange "eau + produit mouillant" (liquide pour lave-vaisselle) pour diminuer au maximum les contraintes du liquide sur les parois.

La phase de remplissage de la tuyauterie doit s'effectuer avec le plus grand soin afin qu'aucune bulle d'air ne subsiste à l'intérieur. Pour cela, il faut siphonner le contenu d'un grand réservoir dans un autre par l'intermédiaire de la tuyauterie utilisée pour l'essai et maintenir le circuit en fonctionnement 15 minutes.

Matériel utilisé pour cette mesure

- pots de mesures
Fabrication CERN - avec capteur Sangamo-Schlumberger - tension de sortie $\pm 4V$ - haute impédance ;
- module électronique
4 canaux disponibles - alimentation 24 volts filtrée ;
- multiplexeur
Fabrication Simecsol - transformation de la tension de sortie des capteurs en signaux numériques ;
- calculateur
Epson PX8 - MEV 64 Ko.



Pot de mesure au Centre

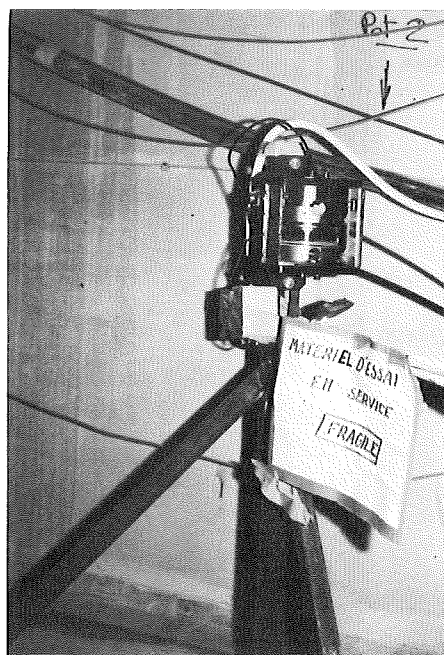
Le fonctionnement de la chaîne de mesure a permis de saisir l'évolution de la flèche au centre à partir du début du gonflage jusqu'au retour à la pression atmosphérique, avec le pas de mesure d'un enregistrement toutes les heures.

La flèche maximum mesurée est de $-7,30$ mm au centre pour la pression maximum ; la flèche résiduelle en fin d'essai de $-2,7$ mm.

Pour cette dernière valeur, nous avons dû apporter une petite correction à l'enregistrement donné par les capteurs car la dernière mesure d'auscultation du radier, sur les 20 points de la périphérie, mettait en évidence une légère variation du plan ausculté en fin d'essai.

Lors de l'implantation des pots de mesures, nous avons pris la précaution de les positionner sur la ligne de plus grande pente du plan, définie lors des auscultations antérieures à l'essai.

La connaissance exacte des deux valeurs caractéristiques, flèche maximum et flèche résiduelle, a permis aux ingénieurs mécaniciens du sol, d'enregistrer les valeurs exactes d'écrouissage pendant cet essai ; mais la mesure en continu aura permis de vérifier la déformation du radier, en fonction de la pression interne du bâtiment.



Pot de mesure en périphérie

Tectonique et topographie au lycée

par J. BRET,
Professeur de Topo au Lycée de Brétigny-sur-Orge
et ses élèves de terminale

Le 5 septembre 1984, le conseil des ministres souhaitait l'augmentation des échanges entre les jeunes et leur environnement scientifique et technologique. Dans ce droit fil, le ministre de l'éducation nationale et le CNRS décidèrent d'une action commune : l'opération 1 000 classes-1 000 chercheurs.

Cette opération était destinée à mettre en relation, sur la base du volontariat et pour un projet particulier, un chercheur ou un ingénieur du CNRS avec une classe de second cycle, pendant tout ou partie de l'année scolaire.

En ce qui nous concerne, à Brétigny, un groupe d'élèves de terminale préparant leur brevet de technicien-topographe, a pu travailler avec deux sismologues de l'Institut de Physique du Globe de Paris, MM. Simonin et Ruegg. Ces deux chercheurs ont pour activité principale l'étude des mouvements de l'écorce terrestre dans le rift de l'Afar (république de Djibouti).

Dans un premier temps, ils sont venus au lycée nous présenter un film d'Haroun Tazieff sur la terre et ses mouvements internes, nous montrer et nous expliquer le fonctionnement de sismomètres, répondre aux multiples questions des élèves sur ce passionnant sujet.

Dans un deuxième temps, le groupe d'élèves s'est à plusieurs reprises, rendu dans leur laboratoire de l'institut, à Paris, pour y approfondir les détails des opérations géodésiques menées sur le terrain.

Ce sont les résultats de leurs recherches personnelles et de leurs entretiens avec ces deux scientifiques qu'ils vont exposer ici.

Excepté pour la prise de contact et les formalités administratives, je suis intervenu un minimum dans les rapports entre élèves et chercheurs.

Je tiens à remercier chaleureusement M. Simonin et M. Ruegg qui ont accueilli ces jeunes avec beaucoup de gentillesse, empiétant sans doute sur leur temps de travail à Paris, entre deux missions africaines.

1) Naissance de la tectonique des plaques

L'univers aurait 20 milliards d'années, la Terre seulement 7. Il y a 200 millions d'années, un seul continent à la surface de la Terre occupait entièrement un hémisphère : la Pangée. Un seul océan l'entourait : la Panthalassa.



Fig. 1 : La pangée.

Il y a 125 millions d'années, des fissures apparaissent dans ce super-continent : l'Atlantique nord et l'océan Indien commencent à s'entrouvrir. L'évolution vers la configuration actuelle, elle-même transitoire, sera constante au rythme de quelques centimètres par année.

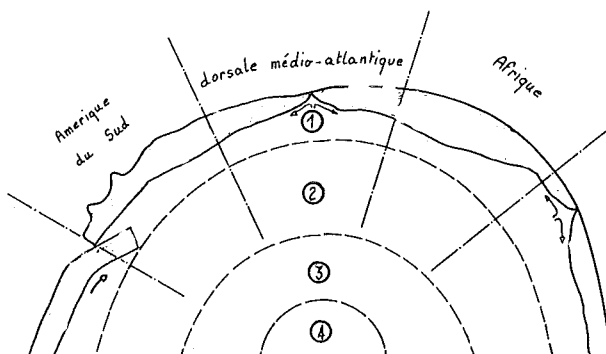


Fig. 2 : 1 Ecorce terrestre - 2 Manteau - 3 Noyau externe liquide 4 Noyau interne solide.

Très longtemps, la similitude des côtes, des espèces animales et végétales de part et d'autre des océans et des mers avait été expliquée par l'effondrement d'anciens continents. Cette théorie, dite des **ponts continentiels** aura donné naissance à la légende de l'Atlantide, mais sera évincée, au début de ce siècle, par de nouvelles idées.

La première théorie "mobiliste" est due à l'allemand Alfred Wegener, qui, en 1912, pose le principe de continents dérivant comme des radeaux sur les fonds océaniques.

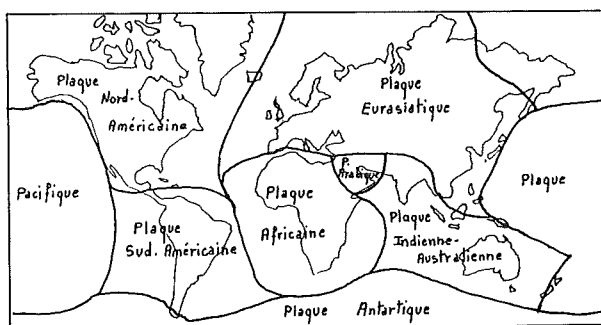


Fig. 3 : Les principales plaques.

L'idée de masses continentales se déplaçant les unes par rapport aux autres fut très contestée pendant plus de 50 ans. Toutefois le faisceau de preuves en sa faveur fit qu'à la fin des années 60, la communauté scientifique entière adopta cette nouvelle théorie. Admis dans son principe, le schéma Wégénérien dut malgré tout être modifié : les continents sont transportés passivement et appartiennent en fait à des plaques composées de domaines continentaux et océaniques de plusieurs dizaines de kilomètres d'épaisseur. Celles-ci se comportent comme une sorte de tapis roulant, se régénérant sur l'axe des océans et disparaissant au niveau des fosses océaniques.

Ainsi est née la **tectonique des plaques**.

2) Les plaques et leurs mouvements

Il est acquis aujourd'hui qu'une mosaïque de plaques mobiles constitue l'écorce terrestre. Différentes natures de plaques se présentent à nous, expliquant divers phénomènes :

- les **plaques océaniques**, les plus minces (environ 10 km) et les plus denses ;
- les **plaques continentales**, les plus épaisses (environ 30 km) mais les plus légères ;
- les **plaques mixtes** de nature composite.

Il existe en tout 7 grandes plaques, auxquelles s'ajoutent des plaques plus petites dont la plaque Arabique.

Plaques océaniques	Plaques continentales	Plaque mixte
<ul style="list-style-type: none"> — pacifique — antarctique 	<ul style="list-style-type: none"> — Eurasie (incluant l'Atlantique nord) — Africaine — Sud-américaine — Nord-américaine 	<ul style="list-style-type: none"> — Indo-australienne (incluant l'océan Indien, l'Australie et l'Inde)

Les plaques en mouvement les unes par rapport aux autres peuvent **diverger**, tout en se régénérant au niveau de la dorsale océanique. Cette dorsale qui court sous les océans sur 60 000 km, est un bourrelet creusé d'une vallée centrale appelé **rift**.

Les plaques océaniques, plus denses peuvent glisser sous les plaques continentales et retourner dans le manteau profond. Les manifestations de ce phénomène sont les **fosses océaniques**. Deux plaques continentales de même densité, en se rencontrant, provoquent **soulèvements** et plissements donnant naissance à une chaîne montagneuse.

Enfin deux plaques peuvent **glisser** l'une contre l'autre, en sens inverse, la friction provoquant des séismes, localisés sur des failles.

3) Le rift de l'Afar

Une branche de la dorsale océanique qui sépare la plaque africaine de la plaque arabique, plus petite, suit le golfe d'Aden, puis la Mer Rouge. Grâce à un verrou rocheux qui l'isole exceptionnellement de l'eau, la dorsale se retrouve à l'air libre en Afar, vaste dépression où se situe la République de Djibouti.



Au fond : lac Asal - 1^{er} plan : Ghoubbat El Kharab.

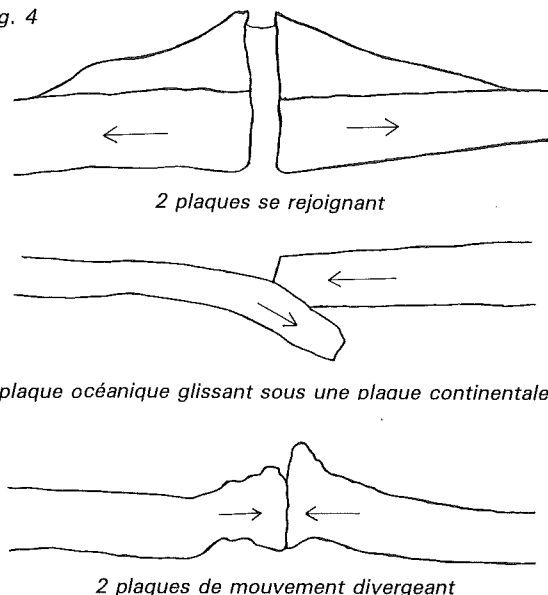
Ainsi au niveau du lac Assal l'altitude est d'environ - 150 mètres. Ce caractère de la dorsale et son rift actif, ne doit pas faire oublier que là se trouve le lieu de naissance du futur océan Érythréen dont la Mer Rouge est l'embryon.

Cet océan sera adulte dans 100 millions d'années.

C'est en cet endroit exceptionnel que les scientifiques de l'Institut de Physique du Globe de Paris (IPG) décidèrent d'étudier les mouvements relatifs des deux plaques en mettant en place plusieurs réseaux géodésiques.

Commencées en 1973, les observations se sont intensifiées après la crise sismique de l'Ardoukoba en 1978.

Fig. 4



4) Les réseaux géodésiques

Dès 1967, la première mission française d'Haroun Tazieff intervient en Afar pour étudier les volcans actifs qui s'y trouvent.



Volcan de l'Ardoukoba et lac Asal au fond.

a) Réseaux larges

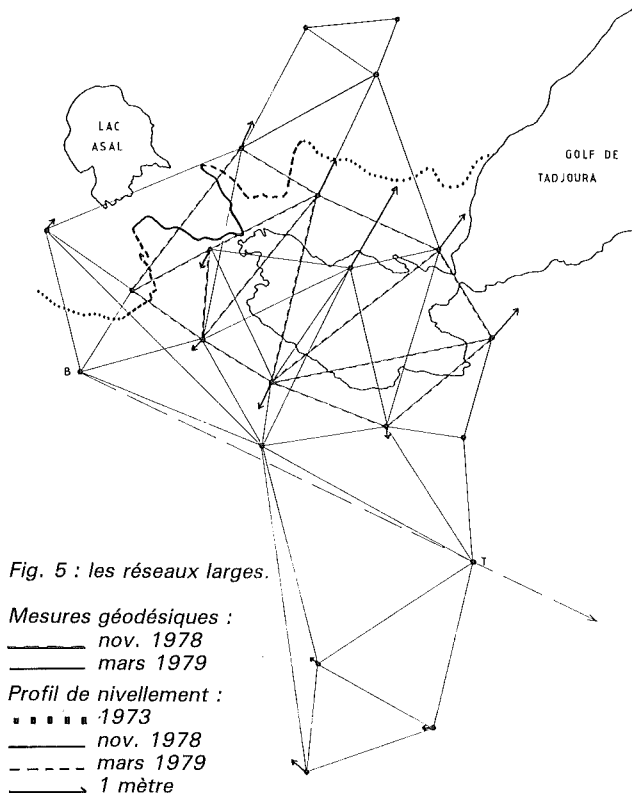
En 1973, c'est l'IGN qui plante et mesure le réseau géodésique initial, d'une envergure de 60 km sur 40. Débordant largement le rift proprement dit, le maillage est de 10 à 15 km. Le point B et la visée BT, situés sur une crête assez éloignée du rift, sont considérés comme fixes et pris pour référence (voir fig. 5). Conjointement, un nivellement de précision rattaché au niveau de la mer est effectué. En novembre 1978 survient l'importante crise sismo-volcanique de l'Ardoukoba, localisée sur le plancher interne du rift, en cet endroit large d'environ 4 km. Immédiatement, le réseau initial est remesuré. Des différences dépassant 1 mètre ont alors été constatées au moyen de la géodésie. Ils seront décrits de façon plus détaillée ultérieurement.

Ce réseau sera complété en mars 1979 par un réseau plus dense.

En effet, ces réseaux larges ne permettent pas une étude détaillée des déformations intra-rift. Certains points sont trop éloignés et rendent la surveillance inefficace.

b) Réseau intra-rift

C'est pourquoi en mars 1979 un réseau géodésique intra-rift s'appuyant sur les réseaux larges, comportant des mailles de 3 à 5 km est créé et mesuré.



c) Mini-réseaux (ou zones locales de surveillance)

A partir de décembre 1979 l'étude de 3 sites particuliers liés à des failles particulièrement actives a nécessité la création de 3 mini-réseaux appuyés sur le réseau intra-rift, les côtés étant de l'ordre de 500 mètres. Des missions spécialisées annuelles s'occupent de l'évaluation des mouvements horizontaux, alors que les mouvements verticaux sur les failles sont évalués mensuellement par le personnel local de l'observatoire de géophysique d'Arta.

Les 3 sites choisis sont :

- le lac de lave de Fiéalé pour le champ de fissures qui le traverse
- le fossé d'Oud Koma à cause d'une partie effondrée en 1978
- le petit rift de Daloalé pour son activité et son abondance de failles et fissures ouvertes.

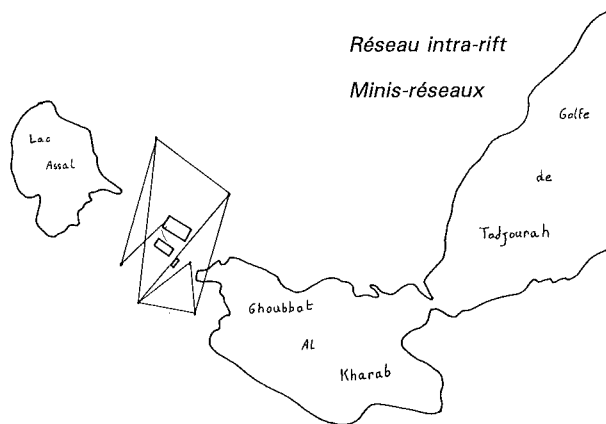
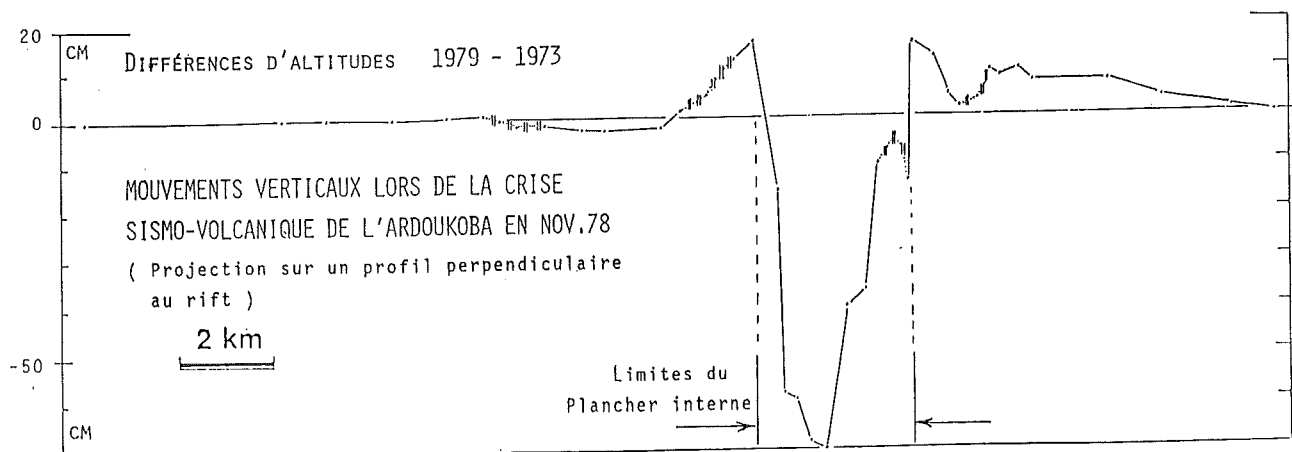


Fig. 7

5) Matériels et pratiques topographiques mises en œuvre

Comme pour n'importe quel réseau de surveillance, les points ont été choisis en fonction de l'objectif à atteindre, c'est-à-dire l'étude des mouvements dans une certaine zone. Bien entendu la relative facilité d'accès et la sécurité de l'opérateur et du matériel ont été toujours pris en compte. Les points ont été matérialisés par des repères en bronze, scellés directement dans le sol. Pour certains, une colonne creuse pouvant recevoir un instrument de mesure a été centrée sur le repère. Des repères auxiliaires, situés à 4 ou 5 mètres des repères principaux pallient leur éventuelle disparition.



RIFT D' ASAL-GHOUBBET (RÉPUBLIQUE DE DJIBOUTI) - MOUVEMENTS D'INFLATION 1979-84 :

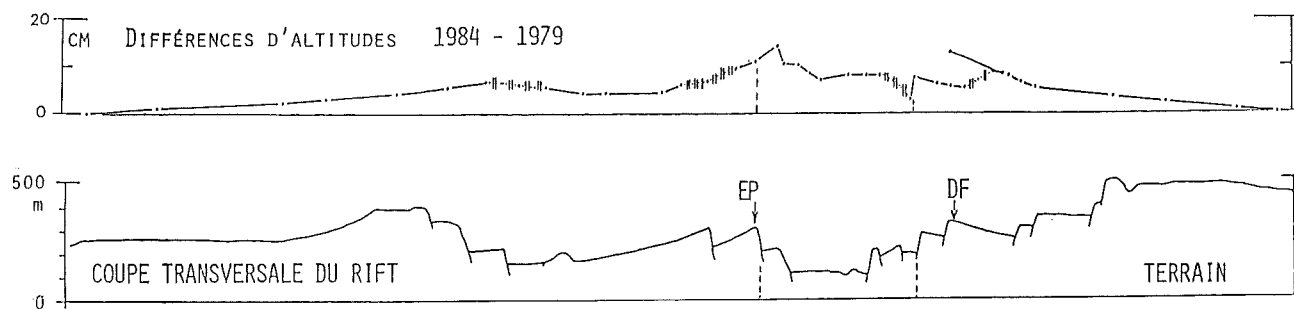


Fig. 6

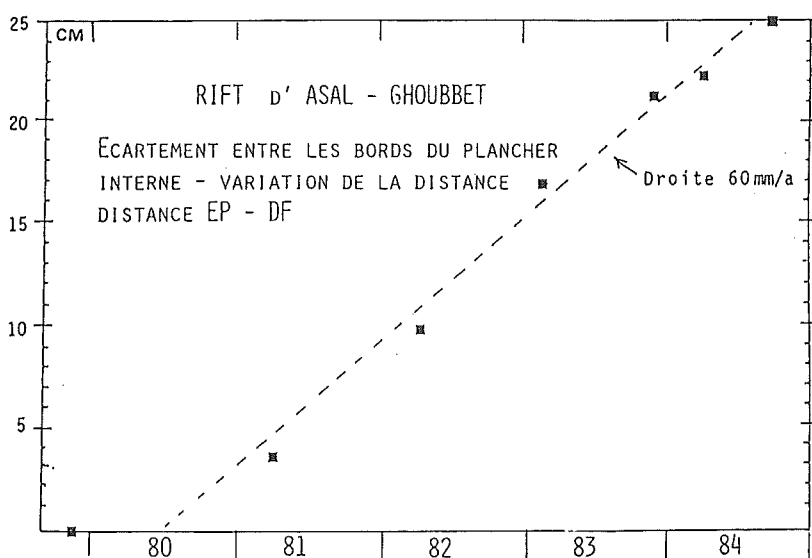
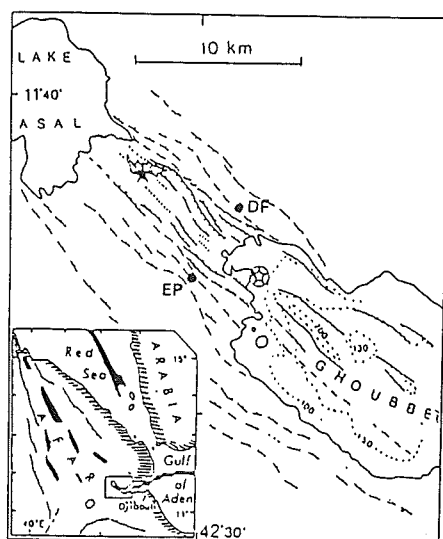


Fig. 8

Le réseau initial établi en 1973 par l'IGN a été observé exclusivement au Wild T3.

Les mesures sur le réseau intra-rift après 1978 ont été réalisées uniquement en multilatération (distances seules) à l'aide de distance-mètres Aga 14 A ou Range Master II.

La précision pour les distances est donnée par la formule :

$$\sqrt{a^2 + b^2 \Delta^2}$$

Δ = distance en km

$b = 2$ à 5 mm

$a = 5 \text{ mm} \cdot \text{km}^{-1}$
(constructeur)

Les dénivelées entre points ont été déterminées par nivellement trigonométrique réciproque et simultané au T2 Wild.

L'ensemble des réseaux est raccordé au nivellement géométrique de précision sur les repères IGN de 1973.

En 1983, le nivellement de précision est rattaché au niveau de la mer donné par un marégraphe installé récemment à proximité du site étudié. Une corrélation est faite avec le marégraphe de Djibouti.

La précision est de l'ordre de $0,5$ à $1 \text{ mm} \cdot \text{km}^{-1/2}$.

Les précisions des nivellements sont calculées par la formule

$$\Delta = \text{distance en km}$$

En nivellement direct :

$$a = 1 \text{ mm} \cdot \text{km}^{-1/2}$$

En nivellement trigonométrique réciproque et simultané :

$$a = 3 \text{ mm} \cdot \text{km}^{-1/2}$$

Enfin, l'ensemble des calculs est fait dans le système UTM (fig. 7).

6) Les résultats des mesures

a) Réseaux larges

Le réseau initial de 1973 avait été créé à cause de l'activité tectonique de la région et déjà on se doutait que des mouvements du sol avaient lieu.

Faute de crédit, le réseau large n'a pas été repris avant mars 1979.

La figure 5 montre en direction et en grandeur, les déplacements planimétriques constatés en mars 79, après la crise sismovolcanique de 1978. Il est net, que les déplacements se font en sens opposés de part et d'autre du rift.

La figure 6 montre les déplacements verticaux à la même date et ultérieurement.

b) Réseau intra-rift

Les mesurages annuels réalisés sur le réseau implanté en

décembre 1979 font apparaître des variations de distances allant de 1 à 6 cm par an.

Par la suite on a constaté des mouvements d'écartements de 7 à 8 cm dans la zone centrale et de 3 cm sur ses bords (voir fig. 8).

c) Zones locales de surveillance

Sur les 3 sites de surveillance spéciale (Fiéalé, Oned Koma, petit Rift Nord) les mesures régulières ont montré que les failles continuaient à bouger à des vitesses comprises entre $0,3$ et 1 cm par an.

Dates	Travaux effectués	Remarques
1967	1 ^{re} mission française d'Haroun Tazieff.	Volcan actif
1973	Implantation et mesure angulaire du réseau initial par l'IGN et nivellement de précision associé.	T3
Nov. 78	Complètement du réseau initial et mesure de distances.	Crise sismique de l'Ardoukoba Master 2 puis Aga 14 Dénivelées au T2
Mars 79	Mesure de distances sur l'ensemble du réseau large. Réseau de nivellement de précision autour du golfe de Tadjoura.	
Déc. 79	Implantation et mesurage de dist. du réseau intra-rift. Rattachement au nivellement quand possible avec dénivelées au T2. 3 mini-réseaux sont créés et mesurés.	Aga 14
Mars 81	Remesurage partiel du réseau intra-rift.	
1983	Rattachement du nivellement au marégraphe.	
1984 85 86	Suite des mesurages.	

7) Discussion et interprétation

En 1978, après l'épisode brutal avec séisme et éruption volcanique, la géodésie a permis de quantifier les mouvements de terrains constatés.

Le phénomène est considéré par les géophysiciens comme représentant l'un des modes de fonctionnement des rifts : la rupture épisodique.

Depuis 1979 l'existence de contraintes tectoniques et du magmatisme dans cette région accumule lentement des déformations qui sont évaluées par les méthodes géodésiques.

L'ensemble de ces résultats, aussi bien sur les trois sites de surveillance de failles que sur le réseau géodésique intra-rift, montre que l'activité tectonique du rift d'Asal a été relativement importante depuis la crise de l'Ardoukoba. Cette activité s'est

manifestée par des mouvements verticaux, de même sens que ceux constatés lors de la crise de 1978, aussi bien sur la bordure nord de la zone réactivée, que sur le bord du plancher interne. La méthode de surveillance mise en œuvre est ponctuelle et ne permet pas d'évaluer le sens ni la grandeur totale du mouvement du plancher interne par rapport à un niveau de référence absolu (par exemple le niveau de la mer ou un point extérieur au rift) ; il faudrait pour cela reprendre en totalité l'itinéraire de nivellement de 1973 et/ou le rattachement à un marégraphe observé pendant une longue période de temps.

L'hypothèse que l'on pourrait envisager pour expliquer les mouvements observés, serait le début d'une nouvelle phase d'étirement tectonique, correspondant au mouvement relatif des plaques Arabie et Afrique. L'ordre de grandeur des mouvements mesurés ne contredit pas a priori une telle hypothèse.

CHORTEN

*Des ingénieurs géomètres spécialisés en informatique,
vous apportent des solutions dans vos travaux de calculs, de dessins.*

Nous proposons :

• DES LOGICIELS PROFESSIONNELS

sur tous les ordinateurs
compatibles IBM-PC/XT/AT (*)
Plan topographique
Digitalisation
Courbes de niveau
Dessin assisté en 2D et 3D

• DES LOGICIELS GENERAUX

Tableur, traitement de texte
Gestion de fichier
et de base de données

• DES MATERIELS

Ordinateurs
Imprimantes
Digitalisateurs
Traceurs

• DES SERVICES

Installation et aide au démarrage
Formation

Répertoire des Annonceurs

CHORTEN	14-51
BLANCHET-LOCATOP	II CV
LART	45
SERCEL	30
SLOM	38
SOPPEG	55
TOPO CENTER	IV CV
ZEISS IENA-COMPAGNIE-GENERALE DE PHYSIQUE	2
WILD + LEITZ FRANCE	III CV
ZEISS	52

L'ETH4, 2^e NOUVEAUTÉ 85 DE ZEISS ...

Programme de fabrication

NIVEAUX

Ni1, Ni2, Ni3
Ni4, Ni42, Ni52

THEODOLITES

TH2, TH42, TH51

TACHEOMETRE OPTIQUE

Rta 4

TACHEOMETRES ELECTRONIQUES

Elta 2, 20, 3
Elta 46 R, Elta 40



Adresses de nos revendeurs

LE PONT Equipements S.A.
Rue Copernic - B.P. n° 11
38670 CHASSE-SUR-RHONE
Tél. : (7) 873.02.88.
Télex : 380.034 F

SLOM
11 bis, rue du Perche
75003 PARIS
Tél. : (1) 271.28.30.
Télex : 240729 F

Ets A. THOMAS
12, rue Friant
75014 PARIS
Tél. : (1) 543.55.25
Télex : 203.590

TOPOCENTER Strasbourg
20, rue des Champs
ECKBOLSHEIM
67200 STRASBOURG
Tél. : (88) 78.65.22

**ZEISS, SOCIÉTÉ EUROPÉENNE FAIT CONFIANCE
A PLUS DE 100 FOURNISSEURS FRANÇAIS**

ETH4

Théodolite électronique
et enregistreur
Double affichage
Plusieurs programmes
de Fonction
 ± 2 milligrades ($\pm 6''$)

Problèmes d'implantation

par M. GODARD,
Ingénieur ESGT

Implantation des gros terrassements

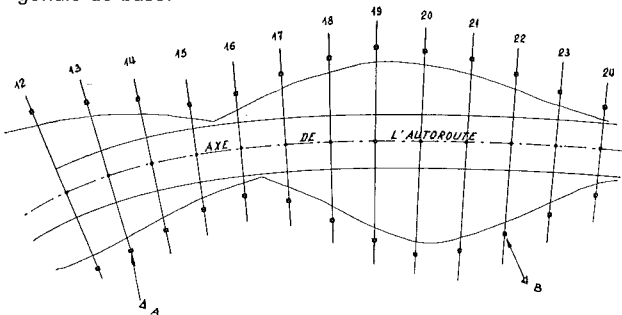
Il semble qu'en ce qui concerne l'implantation d'une autoroute il soit nécessaire de matérialiser en premier l'axe. En effet, tous les plans, profils en long et profils en travers sont rattachés à cet axe.

Malheureusement cette ligne privilégiée se trouve sur le chantier. Aucun piquet la matérialisant ne peut résister.

En conséquence, la méthode utilisée est la suivante.

A partir des points d'axe définis en coordonnées X, Y, on calcule sur la normale 2 points situés à 2 m au-delà des entrées en terre théoriques déterminées sur les profils en travers.

Ces points sont alors implantés sur le terrain à partir de la polygone de base.



Une fois cette implantation réalisée, tous les piquets sont déterminés en altitude par nivellement direct.

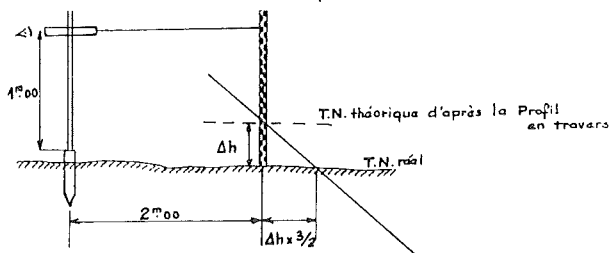
L'implantation de l'entrée en terre se fait alors d'une manière simple avec un niveau type "niveau à main".

Stationnant sur le piquet à 1,00 m au-dessus du piquet, on vise une mire située à 2 m exactement.

D'après le schéma ci-dessus, on voit immédiatement que :

Alt TN exact = Alt. piquet + 1,00 m - Lecture sur la mire.

On compare alors cette altitude du talon de la mire avec l'altitude de l'entrée en terre théorique.



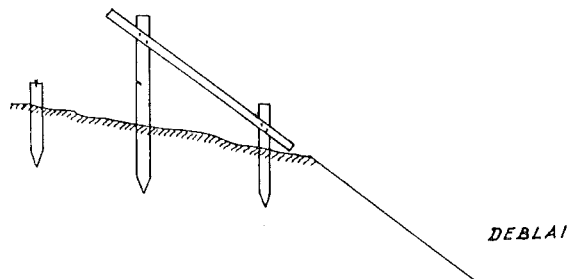
Alt. entrée en terre théorique - altitude mire = Δh .

L'entrée en terre réelle est à déplacer par rapport à la mire de $\pm \Delta h \times 1,5$ dans le cas d'un talus à 3/2.

En ce qui concerne le travail du topographe durant les gros terrassements, il faut envisager 2 cas.

1) Travail en déblai

Dans ce cas on met un "gabarit" c'est-à-dire une latte de bois fixant exactement l'entrée en terre ainsi que la pente du talus.



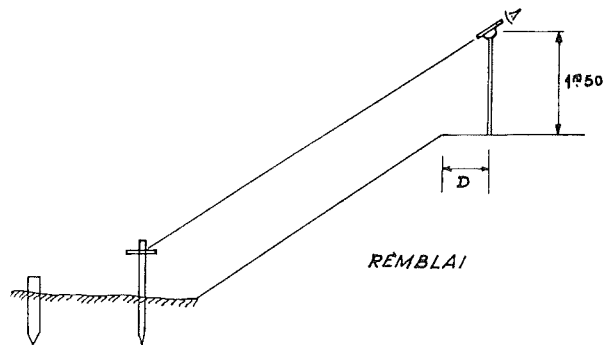
Un déblai équipé de gabarit peut être descendu très correctement sans l'intervention du topographe jusqu'à 50 cm du fond de fouille. A ce stade, il doit préciser exactement la cote "fond de terrassement" et vérifier que la largeur de plate-forme est bonne.

2) Travail en remblai

L'habitude des terrassiers veut que les remblais soient équipés également en gabarits. On se rend vite compte qu'ils sont soit enfouis par les terres soit déplacés par des blocs roulant le long du talus.

En tout état de cause, le topographe ne doit pas laisser un remblai se monter sans vérifier tous les 3 ou 4 mètres la largeur de plate-forme.

Pour cela, on utilise des "niveaux à main, à pente" qui permettent de fixer la largeur de plate-forme en visant un piquet placé en pied de talus ou légèrement déplacé.



Lorsque le remblai arrive près de sa cote définitive, le topographe doit alors remettre avec précision des piquets fixant le bord de plate-forme et sa cote.

La méthode d'implantation par piquets déportés à 2 m des entrées en terre permet la définition exacte et le suivi des gros terrassements jusqu'à la finition comprise. Le fait de connaître les coordonnées de tous les piquets déportés est un avantage primordial qui permet au topographe toutes les "acrobaties" d'implantation au cours des travaux.

D'autre part, la pratique montre que ces piquets restent en place pendant toute la période durant laquelle ils sont nécessaires.

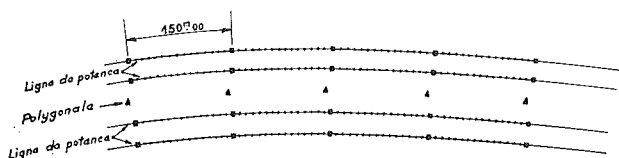
Implantation des chaussées et des équipements

Lorsque la finition est dégrossie (cote à ± 5 cm), il faut mettre en place un réseau très serré de points précisant la position planimétrique et la cote de la chaussée. Une maille de 10 m est alors adoptée.

Les machines type "Finisher" ou "CMI" se dirigent tant en direction qu'en cote à l'aide de 2 palpeurs fixés sur la machine et guidés par 2 fils suspendus sur potence.

Le topographe est donc chargé de mettre en place très exactement (à quelques millimètres près en nivellement) ces potences. Sur le ruban de l'autoroute cela représente 400 potences au kilomètre.

Il a été vu précédemment qu'à ce stade des travaux le canevas devait être complété par une polygonale dans l'axe de la plate-forme. Ces points situés tous les 150 mètres permettent l'implantation de points principaux : les points tous les 10 mètres étant implantés par points en avant.



La signalisation horizontale et les équipements sont toujours implantés à partir des points de polygonale de l'axe.

Problèmes fonciers

La construction d'une autoroute nécessite l'acquisition d'une grande surface de terrain (5 à 10 hectares par km d'autoroute).

Là encore il faut établir des plans définissant les propriétés et les exploitations agricoles afin de voir les répercussions foncières du tracé.

En effet, une autoroute coupe en deux des propriétés ou les réduit de telle sorte qu'elles perdent beaucoup de leur valeur. Quant aux exploitations agricoles certaines deviennent non exploitables du fait de la construction de l'autoroute.

Dans certains cas le bouleversement des exploitations est tel qu'il faut procéder au remembrement des propriétés, en liaison avec l'Administration du génie rural.

Le géomètre est donc chargé d'établir les plans parcellaires précisant les limites de propriétés, elles-mêmes définies avec les propriétaires sur le terrain.

Il doit également recueillir une somme de renseignements considérable concernant la propriété elle-même (état civil des propriétaires et locataires, adresse, profession, forme de contrat de mariage, origine de propriété, etc., etc.).

Le géomètre intervient aussi après les acquisitions et les travaux pour implanter sur le terrain la limite d'emprise des ouvrages. Il borne les nouvelles propriétés et définit en liaison avec le service du cadastre les nouvelles parcelles.

Problèmes de liaison entre études et chantier

Sur un chantier de tracé les problèmes topographiques sont primordiaux, les implantations conditionnant la bonne exécution des travaux.

Le déforestation ne peut se faire sans implantation des emprises.

Un conducteur de scraper ne sait où décharger de la terre s'il n'est pas guidé à la base par quelques piquets.

Un gradériste ne peut régler une plate-forme sans piquets mis à la cote.

Le topographe intervient avant chaque phase d'exécution des travaux pour implanter et après pour vérifier.

Les conditions dans lesquelles il travaille sont souvent assez mauvaises. Réclamé sur le chantier par tout le monde, il doit être efficace au plus haut point.

Les documents qui lui arrivent doivent donc être clairs, précis, standardisés. Il doit trouver sur chaque plan les informations dont il a besoin et pas d'autres.

C'est pourquoi, au bureau d'études, et, à tous les niveaux, chacun doit s'efforcer d'établir des plans et listings directement applicables sur le terrain.

Quelques exemples de points délicats non encore réglés, préciseront ce point de vue

1 - La maille de 25 m choisie pour l'espacement des profils en travers n'est pas un multiple de 10, maille adoptée au niveau des chaussées. Les deux grilles ne se recoupent donc que tous les deux profils.

Il serait plus judicieux d'adopter une maille de 30 m.

2 - Sur une section pour laquelle plusieurs calculs TEGI ont été passés la transmission des cumulées ne se fait pas à une cote ronde. On se retrouve avec des cumulées du type 12239,93 qui se répètent des centaines de fois.

3 - Les listings des profils en travers sont hermétiques pour des gens de chantier s'ils ne sont accompagnés des dessins même simplifiés.

4 - Il serait souhaitable de décomposer les informations contenues dans les listings, profils en travers, en fonction des phases de travaux :

- Terrassement et finition
- Chaussées

et ne fournir que les points strictement nécessaires sur des états maniables sur le terrain.

Par exemple, en ce qui concerne le ruban autoroute les points suivants sont utiles

Au niveau terrassement	Entrée en terre	2 points
Profils tous les 25 ou 30 m	Fond de fouille en déblai ou haut de terrassement en remblai	3 points
	Haut et bas de fondation	3 points
Au niveau réception de plate-forme - profils tous les 10 m	Haut de fondation	3 ou 5 points suivant la largeur de la plate-forme
Au niveau des chaussées	Cote chaussée finie ou fil guide de Finisher	4 points

5 - Les échangeurs doivent toujours être étudiés de façon à définir mathématiquement le bord gauche des bretelles dans le sens de circulation ou l'axe dans le cas de bretelle bidirectionnelle. Ceci est utile notamment pour pouvoir définir le bord droit, donc extérieur, par une largeur de chaussée à partir du bord calculé. Dans les zones de variation de largeur une variation linéaire peut alors être appliquée simplement.

Le fait de définir les 2 bords de chaussées par des axes calculés compliquent énormément les travaux d'étude et d'implantation et ne se justifient que dans des cas très particuliers de raccordement notamment des cercles de rayon très faible.

6 - Sur les échangeurs, la répartition des profils sur les bretelles doit se faire en fonction de ceux du ruban afin de traiter ce dernier en surlargeur, le plus loin possible et d'avoir des profils bretelle sensiblement en face de ceux du ruban.

7 - Les carrefours, raccordement de bretelles, pattes-d'oie doivent faire l'objet de plan de nivellement à très grande échelle.

Les cotes fournies doivent être en particulier relatives aux points prévus en implantation planimétrique. Le topographe ne doit pas recevoir 2 documents différents en ce qui concerne les définitions planimétriques et altimétriques.

8 - Les profils en long doivent correspondre à un axe défini mathématiquement et susceptible d'être implanté. Dans certains cas il vaut mieux que le profil en long soit étudié sur le bord de chaussée qui lui, sera implanté. Dans le cas contraire la transmission des abscisses curvilignes n'est plus satisfaisante.

9 - Les profils en travers types des rétablissements de communication prévoient une largeur de couche de fondation inférieure à celle de la plate-forme terrassements. Or, sur le chantier, personne ne tient compte de ce profil type difficile à réaliser. Les points fournis par le bureau d'étude ne sont donc pas ceux utiles au chantier.

La place de la topographie dans la réalisation d'une autoroute

Il n'y a pas de travaux publics sans opérations topographiques.

Le topographe est présent dès la première étude et quitte le chantier parmi les derniers, après réception des ouvrages.

A tous les stades des études et des travaux, le topographe doit intervenir. Le graphe fourni en annexe montre les différentes tâches auxquelles il participe.

En ce qui concerne la topographie, il serait souhaitable que tous les membres du bureau d'études pensent leur travail en fonction de l'application des plans sur le chantier. Qu'ils aient, en quelques sortes, un optique de topographe pour étudier les projets.

De cela en particulier dépendent les relations de coopération entre Bureau d'Etudes et Chantier.



FLUO TIP

LONGUE DURÉE

Fabriquée en France

Sur le chantier, adoptez
LE TRACEUR-MARQUEUR
qui ne manque pas de souffle...

MARQUAGE
**VERTICAL ou
HORIZONTAL**

contactez

- Bonne résistance aux intempéries
- Peinture fluorescente très visible - 7 coloris
- Sans plomb ni gaz toxique
- Séchage rapide même sur supports humides

SOPPEC

Z.I. de Nersac 16440 ROULLET-SAINT-ESTEPHE
Tél. : 45 90 50 15 Téléc. : 792 196

Atelier Graphique - Appellons - 45 95 42 65

Le géodimètre 140 AGA : étude et utilisation pratique

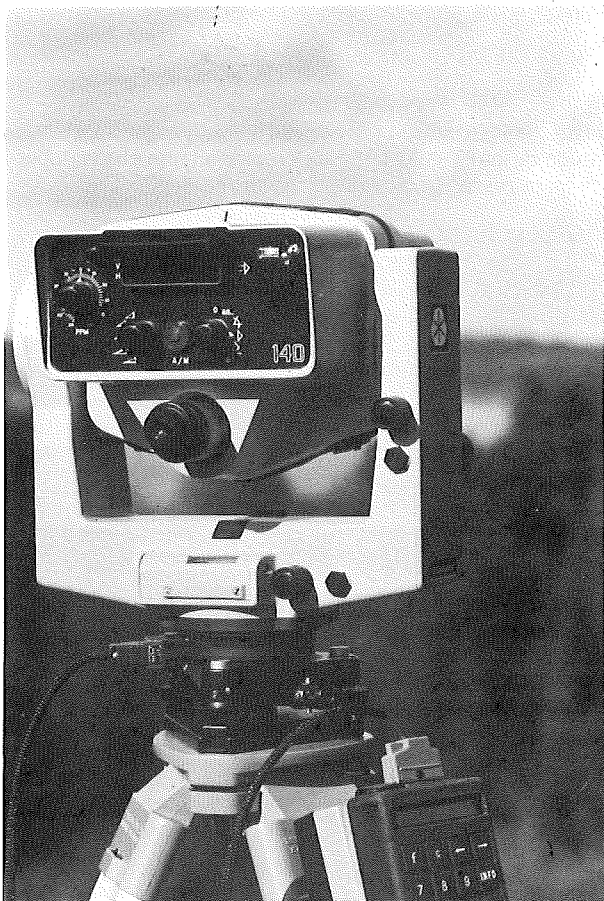
Résumé

Le Géodimètre 140, proposé par la société Aga Geonronics, est une station complète équipée d'un télémètre performant et d'un système de mesure angulaire nouveau qui consiste à intégrer un signal sur toute la surface du cercle électronique. Le théodolite électronique, qui est basé sur la prise en compte automatique de tous les défauts de collimation verticale et horizontale, de tourillonnement et de calage, permet de réaliser toutes les mesures dans une seule position de la lunette.

En vue de déterminer la qualité effective de l'appareil, nous avons successivement étudié :

- le télémètre en élaborant plusieurs méthodes de quantification des erreurs systématiques telles que les défauts d'homogénéité de phase, la constante d'addition, le facteur d'échelle et les erreurs cycliques ;
- le théodolite par la mise en œuvre du test de Heuvelink sur le cercle horizontal, par l'analyse de ses réactions aux variations de champ magnétique et par la comparaison de mesures spécialisées dans les mêmes conditions au T2 (Wild).

Sur le terrain, l'utilisation du Géodimètre 140 sur des canevas de trilatération, de triangulation et de polygona-tion à longs côtés a montré que la précision standard du télémètre est meilleure que celle annoncée ($\pm (5 \text{ mm} + 5 \text{ mm/km})$) et qu'un angle est observé avec une erreur moyenne quadratique de $\pm 8,5 \text{ dmGr}$ dans une seule position.



1. INTRODUCTION

Au moment où la revue de l'Association Française de Topographie (XYZ n° 19, juin 1984, pages 42 à 46) éditait un article concernant une analyse de la précision des systèmes de mesure du Géodimètre 140, l'occasion nous a été donnée à Strasbourg, d'utiliser et de tester pendant quelques semaines cette station complète.

L'étude du Géodimètre 140, qui a donné lieu à la rédaction d'un mémoire de fin d'études a été entreprise dans le cadre d'échanges techniques entre la Société Aga Geonronics, la Communauté Urbaine de Strasbourg et l'Ecole Nationale Supérieure des Arts et Industries de Strasbourg (ENSAIS).

Ce travail se place dans le contexte des propositions faites par M. Ducher dans son rapport de synthèse à l'occasion de la rencontre AFT au SICOB 1982 :

“Des recherches appliquées sont à proposer à la sortie des Ecoles pour analyser et développer l'emploi des nouveaux instruments et des nouvelles méthodes de calculs. Constructeurs et usagers ont intérêt à de telles orientations susceptibles de les aider dans leur choix et de les inciter à s'équiper à bon escient”.

L'objectif de cet article est de communiquer un certain nombre de résultats et de les comparer entre autres aux prescriptions du constructeur.

2. PRESENTATION TECHNIQUE DU GEODIMETRE 140 AGA

Comme tout tachéomètre, le Géodimètre 140 a trois fonctions : la mesure de l'angle horizontal, la mesure de l'angle vertical et la mesure de la distance. Du point de vue de la conception, le constructeur a simplement repris un de ses anciens télémètres (du type AGA 122) et l'a monté sur une alidade pour réaliser une station totale.

Le télémètre est à onde porteuse infrarouge, il est auto-réducteur, sa portée maximale est de 2 500 mètres sur un seul prisme dans des conditions moyennes d'utilisation et la précision standard annoncée par le constructeur est $\pm (5 \text{ mm} + 5 \text{ mm/km})$.

L'originalité du Géodimètre 140 se situe au niveau de la mesure angulaire. La détermination d'une direction n'est non plus réalisée sur des points de lecture diamétralement opposés mais par génération d'un champ électrodynamique à haute fréquence sur toute la surface des cercles électroniques (horizontal et vertical). Ce procédé nouveau élimine les erreurs systématiques dues à un défaut de construction (erreur d'excentricité des cercles, défaut de rectitude de l'alidade, erreur de graduation). Le théodolite, qui est basé sur la prise en compte automatique des défauts de collimation verticale, horizontale, de tourillonnement et de calage permet de réaliser toutes les mesures DANS UNE SEULE POSITION DE LA LUNETTE. Un étalonnage périodique du théodolite permet de contrôler les valeurs des défauts résiduels (tourillonnement et collimation) enregistrées par le Géodimètre.

Un autre atout de l'appareil est son compensateur à deux axes. Il permet de corriger continuellement les défauts de calage et assure l'automatisme et la collimation verticale.

Du point de vue de la précision, l'erreur moyenne quadratique sur la détermination d'une direction dans une seule position est égale à $\pm 6 \text{ dmGr}$ d'après le fabricant (c'est-à-dire $\pm 8,5 \text{ dmGr}$ sur un angle). Il est intéressant de signaler qu'un bip sonore avertit l'opérateur lorsqu'une erreur de mesure ou de procédure a été commise.

Le Géodimètre 140 utilise les relations mathématiques suivantes pour le calcul des angles. Les angles sont recalculés toutes les 0,4 seconde et le microprocesseur fait la somme de plusieurs quantités :

a) Mesure de l'angle horizontal :

L'angle horizontal est calculé et affiché comme suit :

$$H_x = H_{zs} + h \cdot \frac{1}{\sin z} + i \cdot \frac{1}{\tan z} + v' \cdot \frac{1}{\tan z}$$

collimation horizontale f()	tourillonnement f(i)	verticalité du pivot R f(v)
------------------------------------	-------------------------	-----------------------------------

H_{zs} = valeur fournie par le capteur d'angle horizontal
 z = distance zénithale

h = erreur de collimation horizontale

i = erreur de tourillonnement

v' = composante périodique relative à l'inclinaison de l'axe secondaire sur l'horizon, due au défaut de calage v

b) Mesure de l'angle vertical

b1) Mode standard (position mesure de distance)

L'angle vertical est calculé à la suite de la mesure de la distance vers un prisme réflecteur (sans retournement de la lunette).

L'angle vertical est calculé selon :

$$V = V_s + v + v + \frac{200}{SD} \cdot \frac{D}{SD}$$

V = valeur affichée corrigée

V_s = erreur fournie par le capteur d'angle vertical

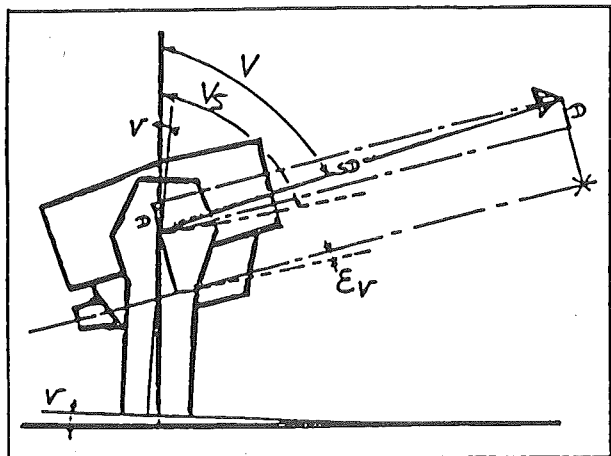
v = erreur de collimation verticale mémorisée

v = inclinaison de l'axe vertical mesurée par le compensateur

$\frac{200}{SD} \cdot \frac{D}{SD}$ = correction de parallaxe

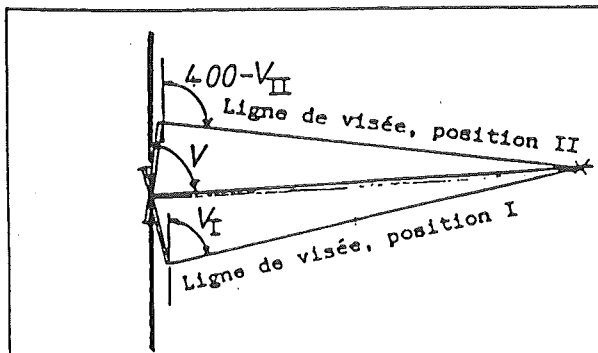
SD = distance inclinée mesurée

$D = 19 \text{ mm}$ = base de parallaxe



b2) Mode théodolite

Deux positions de la lunette sont nécessaires pour déterminer l'angle vertical sur un point sans prisme (pas de mesure de distance possible, point inaccessible par exemple).



L'angle vertical affiché constitue la moyenne des 2 mesures effectuées en tenant compte de l'erreur de calage fournie par le compensateur automatique à deux axes.

En mode théodolite, l'angle vertical est défini comme étant la ligne reliant l'axe de l'instrument à la ligne de visée indiquée par le réticule de la lunette.

3. ETUDE DU TELEMETRE

J'ai comparé l'ensemble des résultats que nous avons obtenus à Strasbourg en 1984 à ceux exposés dans la revue de l'AFT (juin 1984) qui reprenait une étude publiée dans la revue Der Vermessungingenieur (6/1983).

L'étude du télémètre comprend deux parties :

— les paragraphes 1 à 5 concernent l'étalonnage proprement dit : parmi les méthodes et les résultats énumérés ci-après, je me limiterai à rappeler la méthode des 7 points alignés sur une base non étalonnée de 1021,5 m. Cette méthode est conforme à la norme DIN 18723 relative à l'étude des instruments topographiques. Elle permet, en mesurant toutes les distances possibles entre 7 trépieds alignés, de calculer avec précision :

- la constante d'addition
- les erreurs moyennes quadratiques sur les mesures de distances (sur une portée intéressante de l'appareil)
- de porter un jugement sur l'importance des erreurs cycliques
- le paragraphe 6 est relatif à l'utilisation pratique sur le terrain en trilatération. Nous avons obtenu des résultats très satisfaisants sur courtes et longues distances. Dans tous les cas, nous sommes arrivés à une précision supérieure à celle annoncée par le constructeur ($\pm (5 \text{ mm} + 5 \text{ mm/km})$).

1) **INHOMOGENEITES** de phase, test des visées réparties sur une cible :

- zone centrale de la cible variations
- zone périphérique inférieures à :

2) **CONSTANTE D'ADDITION**

- pour un même réflecteur et un même instrument
- calcul par régression linéaire (base étalonnée)
- méthode des 7 points alignés sur 1021,5 m (selon DIN 18723)

3) **CORRECTION D'ECHELLE** : pour 2 instruments distincts

- calcul par régression linéaire sur une base étalonnée
- à l'aide d'un compteur de fréquence

4) **ERREURS CYCLIQUES**

- méthode des 7 points alignés
- test de variation différentielle de la longueur :
 - * distances de 25 à 45 m
 - * distances de 0,2 à 12 m

5) **ERREURS MOYENNES QUADRATIQUES DES MESURES**

- échantillon de distances de 40 à 480 m
- échantillon de distances de 19,5 à 1021,5 m
- échantillon de distances de 0,2 à 850 m

Ces EMQ résultent de la comparaison de distances mesurées et de distances connues.

6) **TRILATERATION**

- réseau de 4 points (dist. de 60 à 100 m)
 - * EMQ sur la moyenne d'une distance mesurée en aller-retour
 - * EMQ des distances compensées
- réseau de 6 points (dist. de 800 à 2 500 m)
 - *
 - *
 - * EMQ sur les coordonnées

ENSAIS, CUS 1984	MM. Farhur, Jacobs Kapelle 6/1983
cible à 24 m 0,6 mm 1,9 mm	cible à 31,5 m 0,5 mm 1,5 mm
a = - 1,4 ± 0,4 mm a = - 1,8 ± 0,5 mm	
k = - 7 ± 1,3 mm/km	k = 1,0 mm/km
- 1,1 v + 2,9 mm V 3 mm	V 0,5 mm
EMQ ± 0,8 mm EMQ ± 1,1 mm	EMQ ± 0,5 mm
Mq _{moy} = ± 0,5 mm Mq 0,6 mm	
Mq _{moy} = ± 3,2 mm Mq 5,8 mm 7 EMQ(X) 13 mm 5 EMQ(Y) 11 mm	

Nota : ENSAIS : Ecole nationale Supérieure des Arts et Industries de Strasbourg.

CUS : Communauté Urbaine de Strasbourg.

4. ETUDE DU THEODOLITE ELECTRONIQUE

L'étude a essentiellement porté sur le cercle horizontal. L'auscultation du cercle horizontal par la méthode de Heuvelink a permis de calculer une erreur moyenne quadratique de base du théodolite en observant un même angle dans des conditions idéales en laboratoire :

$$\text{EMQ (de base)} = \pm 3,1 \text{ dmGr}$$

Dans la mesure où le test de Heuvelink a été à l'origine destiné aux théodolites classiques pour déduire une erreur moyenne de graduation du cercle, on serait tenté de dire que le résultat ci-avant a peu d'intérêt. En fait l'EMQ de base correspond à une EMQ "électronique" interne du Géodimètre 140 incluant d'une part l'EMQ d'observation sur un angle simple et d'autre part l'EMQ "électronique" de graduation sur ce même angle.

En vue d'étudier la sensibilité et la vulnérabilité du système de mesure angulaire, nous avons soumis le Géodimètre 140 à l'influence du champ magnétique. Je rappelle que la mesure angulaire résulte de la génération sur toute la surface du cercle d'un champ électrodynamique à haute fréquence. Deux tests importants sont à signaler :

- deux gros aimants placés sur le cercle horizontal n'ont provoqué aucune variation de l'affichage,
- l'approche d'un démagnétiseur à 20 cm du cercle horizontal a engendré une instabilité de l'affichage de + 20 dmGr (tandis qu'à 50 cm, l'affichage restait stable).

En triangulation, les résultats que nous avons obtenus n'ont pas été satisfaisants. Il s'agit d'un des rares résultats négatifs à l'actif du Géodimètre 140. En effet, sur le réseau-test d'Ittenheim (côtés de 800 à 2500 m), les résultats (qui restent à confirmer) sont les suivants :

Par station : 3 à 5 points visés en 5 ou 6 séquences
EMQ(dir) = EMQ sur une direction obtenue en une seule paire

$$3,7 \text{ EMQ(dir)} \quad 7,0 \text{ dmGr}$$

Fermeture des triangles : - 56 dmGr à + 78 dmGr !!!

Nous avons attribué ces mauvaises fermetures aux conditions moyennes de visibilité durant les observations. Je pense que de bonnes conditions de travail permettraient d'améliorer ces fermetures d'autant plus que le tableau ci-après comparant les EMQ sur une direction entre le T2 de Wild et l'AGA 140 montre que les deux appareils ont une précision voisine, alors que le T2 est un instrument qui a fait ses preuves en triangulation. Il faut ajouter que les observations de trilatération et de triangulation sont relatives aux mêmes précautions de centrage et de balisage.

a) Laboratoire, 5 points visés :

EMQ (dir) =

b) Laboratoire, 5 points visés :

EMQ (dir) =

c) Plein air, 4 points visés :

EMQ (dir) =

WILD T2	AGA 140
3 paires de 2 séq. 2,7 dmGr	6 séquences 4,9 dmGr $Mq_1 = \pm 6,0$ dmGr
2 paires de 2 séq. 1,6 dmGr	5 séquences 4,1 dmGr $Mq_1 = \pm 7,3$ dmGr
2 paires de 2 séq. 5,0 dmGr	5 séquences 4,0 dmGr $Mq_1 = \pm 7,0$ dmGr

Nota : EMQ (dir) = EMQ sur une direction obtenue en une seule paire

Mq_1 = EMQ sur une direction en considérant les lectures du T2 comme théoriques.

On constate également sur le tableau ci-dessus une plus grande dispersion des valeurs EMQ(dir) pour le T2, alors qu'avec le Géodimètre 140 la même erreur moyenne quadratique est stable autour de 4 ou 5 dmGr. Il s'agit là d'un des grands avantages du compensateur de nivellement à deux axes qui confère à l'instrument une véritable REGULARITE dans la précision angulaire. Son pendule bi-axial (bain de mercure faisant armature d'un condensateur) travaille dans deux plans perpendiculaires avec une précision de 0,1 dmGr. Je rappelle que ses deux rôles sont :

- d'éliminer l'influence du défaut de calage du pivot (calé au départ à une division près de la nivelle),
- de rendre la collimation verticale automatique.

5. SYNTHESE DES RESULTATS OBTENUS PAR DIFFERENTS UTILISATEURS DU GEODIMETRE 140

Je remercie M. Gervaise (CERN Genève), M. Fleury (SNCF Paris), M. Daul (ville de Mulhouse), MM. Crosnier-Treche (Sézanne), M. Soler (ville de Toulouse), et M. Tallet (Bron) pour avoir répondu à une enquête concernant le Géodimètre 140 et son utilisation, sa maniabilité, ses performances... Ces utilisateurs ont évoqué un certain nombre de réflexions que je résume ci-dessous.

Le nouveau dispositif de mesure des angles dans une seule position satisfait la plupart d'entre eux et constitue un bon argument de vente. Cependant, la précision de l'établissement du théodolite (c'est-à-dire de l'enregistrement des erreurs de collimation et de tourbillonnement) influence les mesures d'angles. La méthode du double retournement reste nécessaire pour contrôler les lectures et déceler un dérèglement. Cette méthode permet également de définir une fréquence pour l'établissement en question, c'est-à-dire que si un écart est détecté entre les deux positions de lecture, l'établissement est immédiatement à entreprendre. Je remarque que seul un utilisateur a adopté ce mode opératoire et que les autres soumettent leur instrument une fois par semaine, voire une fois par trimestre à l'établissement.

Certaines caractéristiques mécaniques semblent limiter la précision angulaire. Le perfectionnement de l'optique de la lunette (système de mise au point) et des systèmes de blocage et de fin calage est souhaité pour améliorer les résultats du point de vue de la mesure des angles. Par contre, l'électronique du Géodimètre 140 semble très performante.

Les principaux avantages mentionnés sont la rapidité, la précision, la compensation angulaire automatique, l'économie de personnel (avec Géodat), la fiabilité dans le transfert des données, le signal sonore et l'affichage

par diodes électroluminescentes. Pour le levé, plus le nombre de points est important, plus le Géodimètre 140 affirme sa supériorité par rapport aux autres appareils existants.

Résultats obtenus sur des canevas de précision observés au Géodimètre 140

EDF-REAL Cattenom)	Longueurs des côtés du canevas : (150 à 500 m) EMQ sur la mesure d'une distance : $\pm 3,0$ mm EMQ sur la mesure d'une direction : ± 6 dmGr
CERN (Genève)	Distances de 0 à 300 m : précision 0,7 mm Précision sur les angles : 6 dmGr
Communauté Urbaine de Strasbourg	Polygonation de précision à longs côtés : EMQ sur la mesure d'un angle : ± 7 dmGr Compensation d'un bloc de 40 points nouveaux sur un chantier de 1 200 ha — moyenne arithmétique des corrections angulaires : 10 dmGr — moyenne arithmétique des corrections linéaires : 9 mm — toutes les EMQ(X) et EMQ(Y) inférieures à 2 cm — moyenne des EMQ sur les coordonnées : 1,3 cm Compensation d'un bloc de 4 points nouveaux du canevas global : — moyenne arithmétique des corrections angulaires : 4 dmGr — moyenne arithmétique des corrections linéaires : 6 mm — toutes les EMQ(X) et EMQ(Y) inférieures à 5 mm

6. CONCLUSION

Les résultats obtenus tout au long de l'étude ainsi que ceux recueillis auprès d'autres utilisateurs permettent d'affirmer que le Géodimètre 140 est un instrument universel qui se place à la pointe du progrès.

Le télémètre est précis, pratique et performant. Il est susceptible de rendre de précieux services aussi bien à courtes distances que sur des réseaux trigonométriques de 4^e et 5^e ordres. Cependant ces qualités "éblouissan-

tes'' ne doivent pas inciter le praticien à avoir une confiance aveugle en son instrument, qui n'étant qu'un assemblage de composants électroniques n'est ni infail-
lible, ni indéréglable. Des étalonnages consciencieux et réguliers s'imposent.

Le théodolite électronique est original et la précision de 6 dmGr sur la détermination d'une direction est confirmée. Le compensateur à deux axes est une option fondamentale de l'instrument et permet d'obtenir des résultats très réguliers. Le seul problème qui se pose avec le théodolite et son utilisation dans une seule position de la lunette est de savoir à quel moment celui-ci est dérég-
lé (c'est-à-dire quand les quantités correspondant aux erreurs de collimation horizontale, verticale et de touril-
lissement, enregistrées dans un microprocesseur ne sont plus valables). Pour se rendre compte d'un dérég-
lage, le seul moyen reste la mesure des angles dans les deux posi-
tions de la lunette. C'est pourquoi sur des canevas de précision où l'instrument subit de nombreux déplacements et de nombreuses mises en station, je conseille d'observer les angles dans les deux positions de la lunette. En fonction du domaine d'utilisation, l'utilisateur

devra définir son mode opératoire (une ou plusieurs séquences).

7. BIBLIOGRAPHIE

G. DUCHER

Rencontre AFT au SICOB. La tribune des constructeurs. Rapport de synthèse.

Revue de l'AFT n° 7, juin 1981, pages 5 à 9.

I. FARHUR ; H. KAPPELLE ; E. JACOBS

Genauigkeitsuntersuchung des AGA - Geodimeter 140 - Systems. Der Vermessungsingenieur juin 1983.

I. FARHUR ; H. KAPPELLE ; E. JACOBS

Analyse de précision du système de mesure 140 AGA GEODIMETER

Revue de l'AFT n° 19 (1984) pages 42 à 46.

DIN 18723

Genauigkeitsuntersuchungen an geodätischen Instru-
menten.

6 parties Paragraphe 3 Théodolites

Paragraphe 6 Distancemètres

en projet

ABONNEMENT 1986 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"

39 ter, rue Gay-Lussac
75005 PARIS

Abonnement 1 AN (4 numéros) : 370 F.

Tous les membres de l'A.F.T. sont automatique-
ment 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) : 95 F.

Tél. : (1) 43.54.19.21 pte 310 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 accom-
pagnée de la somme de 4,00 F en timbres-
poste.