



Revue  
de l'Association  
Française  
de Topographie

5<sup>e</sup> CARTE PARTICULIERE  
DES COSTES  
DE BRETAGNE

Contenant les Environs  
de la Rade de BREST  
Levé et Gravé Par Ordre du Roy.  
A PARIS 1793

N° 23 JUIN 1985 7<sup>e</sup> ANNÉE

ISSN 0290 - 9057

## COUVERTURE

Quel meilleur cadre que Brest pour le 11<sup>e</sup> Colloque Technique de l'AFT sur la Bathymétrie ! Brest, haut-lieu de l'hydrographie française, ainsi qu'en témoigne cette ancienne carte marine de la rade et des approches, a accueilli à cette occasion plus de 100 membres ou sympathisants de l'AFT, réunis sous la présidence de l'Ingénieur Général Bourgoin, Directeur du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine.

## TRIMESTRIEL

Le numéro : 95 F  
L'abonnement d'un an  
(4 numéros) : 350 F

Secrétariat de l'AFT  
et Rédaction XYZ  
39 ter, rue Gay-Lussac  
75005 PARIS  
Tél. : (1) 354.19.21 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

Jean PUYCOUYOUL  
Ingénieur E.P.

## MEMBRES

André BAILLY  
Ingénieur ETP  
Jean COMBE  
Ingénieur ESGT  
Guy DUCHER  
Ingénieur Général Géographe  
Jean-Jacques LEVALLOIS  
Ingénieur Général Géographe  
Roger SCHAFFNER  
Géomètre DPLG  
Bernard SCHRUMPF  
Ingénieur en Chef  
de l'Armement

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION  
Jean PUYCOUYOUL

## 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..... 5

1<sup>er</sup> Congrès International de l'AFT

- La photogrammétrie : une technique d'acquisition de données pour les systèmes d'informations géographiques  
par Erick VAN DER ZEE..... 16
- Les applications de NAVSTAR à la topographie  
par Georges NARD..... 31

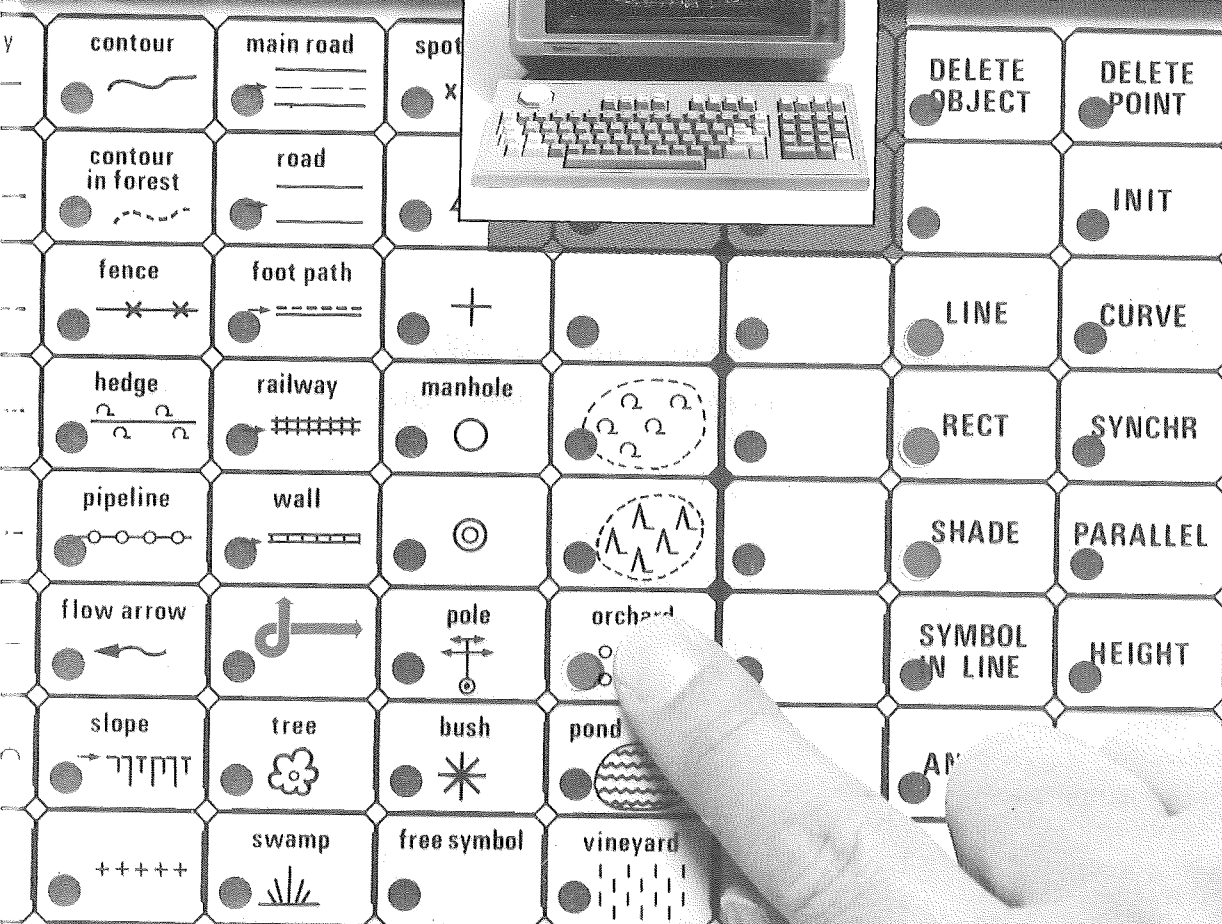
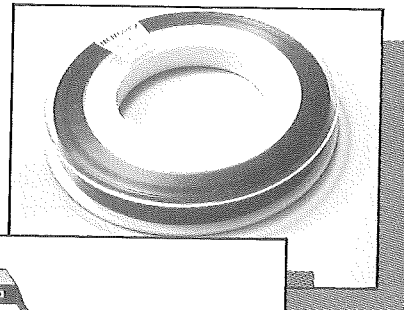
## Gazette de l'AFT

- Calendrier..... 45
- Nouvelles, Emplois, Assemblée générale extraordinaire du 1<sup>er</sup> juin 1985, Colloque national sur la "Figure de la Terre"..... 46
- La FIG remplit sa mission internationale  
par J. TASSOU..... 47
- L'AFT Centre en voyage... en Ile-de-France..... 49
- Normalisation des termes et des symboles utilisés en topographie,  
par Michel BRABANT et Raymond d'HOLLANDER..... 53
- Implantation des gabarits de talutage  
par J. COMA..... 55

Avec le RAP2 et l'AVIOLYT BC2, vous pouvez simultanément restituer et enregistrer l'ensemble des données sous forme numérique, ou simplement stocker les données, avec ou sans tracé de contrôle. Vous pouvez pour chaque travail générer votre propre bibliothèque de symboles et de types de lignes. Vous pouvez définir et stocker vos cadres et vos cartouches avec le quadrillage et le texte, et restituer vos points de contrôle. Vous pouvez utiliser les tables traçantes à commande numérique Wild AVIOTAB TA10 et TA2 pour produire à l'encre ou en gravure des cartes et des plans définitifs. Ou bien,

... afficher immédiatement ou en différé les données enregistrées sur un écran graphique couleur. Vous pourrez également les y éditer. Et les stocker sur bande magnétique ou sur disquette, ou de les transférer directement dans une base de données ou sur un système graphique interactif.

Voulez-vous en savoir plus sur le Wild RAP2 ou le Wild AVIOLYT BC2? Une documentation complète est à votre disposition.



# Trois cents ans de géodésie française (suite)

---

par J.-J. LEVALLOIS  
Ingénieur Général Géographe

## VIII — La triangulation des Ingénieurs Géographes

“Louis, par la grâce de Dieu, roi de France et de Navarre, sur la proposition de notre Ministre Secrétaire d’Etat au Département de la Guerre, nous avons ordonné et ordonnons ce qui suit :

Il sera formé une commission de quatorze membres présentés par les Ministres de l’Intérieur, de la Guerre, de la Marine et des Finances, lesquels seront chargés d’examiner le projet d’une nouvelle carte topographique générale de la France, appropriée à tous les services publics et combinée avec l’opération du cadastre général, ainsi que d’en poser les bases et le mode d’exécution.

Cette Commission est composée des membres ci-après :

Département de l’Intérieur : MM. le Comte de Laplace - président, Delambre, Bérigny, Vallot, de Bonnard.

Département de la Guerre : M. le Général Haxo, et en son absence : MM. de Beaufort d’Hautpoul, Brossier, Bonne, Puissant.

Département de la Marine : M. le Chevalier de Rosel.

Département des Finances : MM. Hennet, Lesueur, Hautier, Chauvet.

Nos Ministres Secrétaire d’Etat sont chargés de l’exécution de la présente Ordonnance.

Donné en notre château des Tuileries, le 11 juin de l’An de Grâce 1817, et de notre règne le vingt troisième. Signé Louis ” (6).

C’est en ces termes plus qu’anachroniques que fut donné le coup d’envoi des travaux de la carte au 1/80 000 dite carte de l’Etat-Major.

La décision venait à point nommé. Bien que les dernières feuilles de la carte de Cassini n’aient été publiées que vers 1815, cette carte était insuffisante :

- elle présentait des erreurs qui ne passaient pas inaperçues, localités déplacées par rapport à leur situation correcte, absence des limites administratives, viabilité...
- coordonnées géographiques erronées ;
- représentation insuffisante et parfois fantaisiste du relief, etc...

D’autre part les planches, en cuivre, ayant servi aux tirages avaient subi de nombreuses retouches et les tirages successifs les avaient détériorées ; enfin l’évolution de la société, des besoins, des conceptions exigeait des documents nouveaux.

Dès 1808 Napoléon avait songé à confier aux ingénieurs géographes la confection d’une nouvelle carte topographique de la France, projet pour lequel le Colonel Bonne lui avait présenté une longue étude, mais “... de nouvelles campagnes appelèrent ailleurs l’activité du Souverain”. Le projet fut repris par Bacler d’Albe en juin 1814 puis évidemment enterré aux Cent-Jours et finalement exhumé par d’Ecquevilly après 1815, sur le vu d’un nouveau rapport de Brossier, ancien chef des travaux topographiques en Italie (voir plus haut) et de l’un de ses adjoints. Une des grandes originalités du projet était de mener de front les travaux de la carte et du cadastre, dont les levés entrepris par communes, sans référence à un quelconque système de coordonnées, ne se raccordaient que très péniblement.

Dans un discours de style très parlementaire, l’illustre Laplace (Comte de) exposait à la Chambre des Pairs les principes sur lesquels devait reposer l’exécution du cadre géodésique nécessaire à la carte et au Cadastre, et pour être plus convaincant, jouait sur la chanterelle de la fierté nationale (21 mars 1817). L’ordonnance royale suivit peu après.

La Commission Royale était assistée par une Commission du Dépôt de la Guerre, constituée par des Ingénieurs Géographes, chargée de mettre au point les instructions de travail, de les soumettre à la Commission Royale et de les rédiger.

Nous extrayons de son “Rapport sur le mode d’exécution d’une nouvelle carte topographique de la France, appropriée à tous les services publics, et combinée avec les opérations du cadastre” un certain nombre de prescriptions relatives aux travaux géodésiques (6).

“Opérations géodésiques : le canevas trigonométrique de la France, dont l’exécution est confiée au Corps Royal des Ingénieurs Géographes militaires, sera lié à la Méridienne de Dunkerque et à sa perpendiculaire dirigée de Strasbourg à Brest \*.

---

\* Cf. II. La triangulation des Cassini.

Ce Canevas sera divisé en grands quadrilatères limités par des chaînes principales de triangles menés de 200 000 mètres en 200 000 mètres parallèlement aux deux coordonnées fondamentales. Les quadrilatères seront remplis de triangles du 1<sup>er</sup> ordre, liés aux chaînes principales. Ces triangles se subdiviseront de triangles du 2<sup>e</sup> ordre, et à ceux-ci se rattacheront la triangulation du 3<sup>e</sup> ordre exécutée en totalité par les ingénieurs du cadastre... \*\*.

Les mesures angulaires devaient être exécutées au cercle répétiteur, à 2 séries au moins de 20 répétitions, celles du 2<sup>e</sup> ordre à 2 séries de 10 répétitions. Les mesures de distances zénithales étaient observées dans les mêmes conditions, à 3 séries "prises à des heures différentes et surtout vers le milieu du jour... autant que possible par le concours d'observations simultanées, celles-ci seront accompagnées d'observations barométriques.

... La chaîne principale qui doit s'étendre de Strasbourg à Brest et concourir avec la méridienne de Dunkerque à la détermination de la figure de la terre, sera reconnue et mesurée par les Ingénieurs géographes militaires... Les observations astronomiques et notamment celles de longitude... seront réservées aux membres du Bureau des Longitudes. Cependant, le Dépôt de la Guerre fera faire toutes celles qui auront été jugées nécessaires...". Le rapport précisait ensuite les ordres d'urgences et les instructions pour les travaux topographiques.

La Commission du Dépôt de la Guerre complétait ces instructions dans le détail et étudiait les rendements possibles, les dépenses probables, etc...

L'autorité ministérielle avait toutefois sous la forme d'un Comité du Dépôt de la Guerre, indépendant des deux Commissions, introduit un Cheval de Troie dans l'organisation. Consultatif, il donnait au Ministre des avis parfois opposés, ce qui n'allait pas sans susciter des conflits et de violentes protestations, parce que ses avis, d'ordre surtout financier, donc fort écoutés du Ministre, allaient à l'encontre des recommandations de la Commission, dans le sens d'économies néfastes pour la qualité du travail.

**Le réseau de 1<sup>er</sup> ordre :** les travaux de Géodésie de 1<sup>er</sup> ordre ont donné lieu à une publication très complète, la Nouvelle Description géométrique de la France, publiée dans le Mémorial du Dépôt de la Guerre (30, 6, 7, 9) par Puissant - au moins en ce qui concerne les 2 premiers tomes.

La figure 22 reproduit le schéma des chaînes de 1<sup>er</sup> ordre. On y remarquera un dédoublement de la méridienne de Delambre, entre Paris et Bourges (méridienne de Fontainebleau) observé pour suppléer les triangles mal conformés entre Orléans et Bourges. On y verra également les raccords frontières avec les triangulations Badoise, Suisse et Italienne dont nous avons parlé plus haut. Dans un but de clarté, on n'y a pas fait figurer les triangles de 1<sup>er</sup> ordre complémentaire.

\*\* Selon Berthaud (6), le Service du Cadastre montra peu de zèle pour cette opération à laquelle il ne participa finalement point.

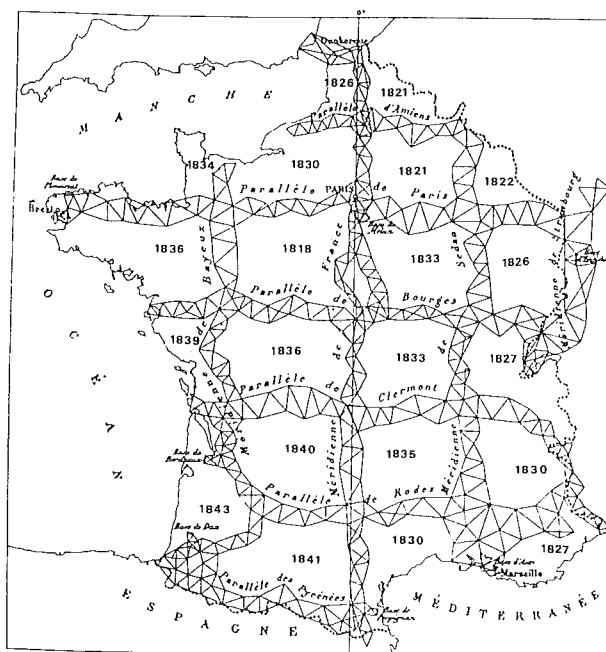


Figure 22

Le réseau est appuyé sur 7 bases : Melun, Perpignan, Ensisheim, Plouescat, Bordeaux, Dax, Aix, observées à l'appareil de Borda. Les observations angulaires ont été exécutées avec les cercles répétiteurs de Gambey : le nombre des fermetures élevées des triangles est assez grand, comme en témoigne le tableau ci-dessous qui englobe les chaînes et le 1<sup>er</sup> ordre complémentaire (secondes centésimales).

	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42
+	130	106	92	56	42	30	32	15	12	5	4	2	4	1	
-	137	106	92	64	55	37	26	27	11	15	10	1	2	1	
	112	106	92	77	59	42	28	18	11	6	4	1	1	0	

La 3<sup>e</sup> ligne de ce tableau correspondrait à une répartition Gaussienne des fermetures, calculée pour un écart type de  $\pm 11.7$  tel qu'il se déduit des résultats bruts.

La comparaison des bases par fermeture de l'une sur l'autre est indiquée dans (30, 7). On peut, en appliquant la formule classique donnant la précision des côtés successifs calculer un ordre de grandeur théorique de son écart type  $E_{CD}$ .

$$E_{CD} = E_a \sqrt{\cotg^2 B + \cotg^2 C} \cdot AB$$

CD étant issu d'une chaîne de n triangles, par transmission angulaire d'écart type  $E_a$ , AB est le côté moyen de la chaîne,  $\cotg B$ ,  $\cotg C$ , les cotangentes des angles "moyens" d'un triangle ; si on admet  $\cotg^2 B + \cotg^2 C = 2$ , avec  $E_a = \pm 11.7 / \sqrt{3}$  soit environ  $1/100\ 000$ ,  $AB \approx 30$  km, on obtient un écart type de  $\pm 0^m 42 \sqrt{n}$ , n étant le nombre des triangles intermédiaires.

Les bases	Dax	Bordeaux	Ensisheim	Aix	Plouescat
Melun	12219.24	14119.65 14117.77 14117.82	19044.13	8067.17	10526.91
Perpignan	12220.77 12218.49			8066.93 8067.15	
Dax	12220.03			8066.44	
Bordeaux	12219.73	14119.08		8067.35 8067.70	
Ensisheim		14119.00 14118.17	19044.40		10527.08
Aix				8066.65	
Plouescat		14118.32 14119.06			10526.91

Le tableau ci-dessus tiré de (30,7) donne par colonne, la longueur de la base correspondante telle qu'on l'obtient par le calcul en suivant un ou plusieurs enchaînements, à partir d'une base indiquée dans la colonne de gauche, la longueur exacte mesurée sur le terrain étant donnée dans la case encadrée.

Puissant écrit à ce sujet "Le but de ces comparaisons est non seulement de s'assurer si les opérations trigonométriques ont toute l'exactitude que comportent les méthodes d'observation et les instruments actuels, mais en outre de reconnaître s'il est nécessaire de modifier conformément aux lois de la probabilité, les angles des triangles qui unissent des bases discordantes afin que l'une reproduise les autres, et que l'erreur commise sur la grandeur d'un arc de méridien ou de parallèle, déduite de ces mêmes triangles soit en même temps la plus petite possible". On s'assure que les ordres de grandeur des fermetures base sur base entrent bien dans la marge indiquée par la formule donnée plus haut, qui n'est d'ailleurs qu'une indication.

A titre comparatif on peut avoir une indication assez correcte de la précision réelle des observations angulaires à cette époque en comparant les mesures faites par Méchain en 1795 avec celles de Corabœuf reprises en 1825-26 dans la région de Perpignan où il fut possible d'identifier les centres de station de manière certaine lors des mesures du parallèle des Pyrénées (30,6).

Les sommets de Tauch (1), Forceral (2), Espira (3), Terme Nord (4), Terme Sud (5) de la base de Perpignan sont communs aux 2 triangulations ; on trouve, (fig. 23)

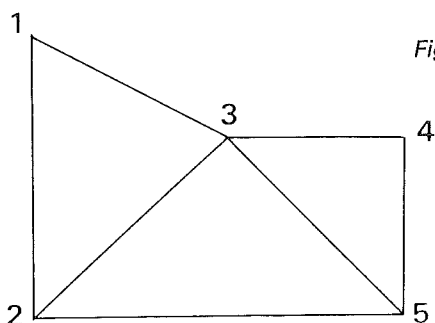


Figure 23

les résultats qui correspondent bien à la précision qu'on peut atteindre des mesures angulaires à l'époque.

	Méchain	Corabœuf
3(4,5)	57°45'19",0	57°45'17",7
5(3,4)	43°25'33",7	43°25'37",8
4(3,5)	78°49'7",5	78°49'4",9
3(1,5)	164°32'40",8	164°32'43",4
2(1,3)	41°29'48",4	41°29'48",2
2(3,5)	55°32'44",6	55°32'44",8

**Stations astronomiques :** un certain nombre de stations astronomiques jalonnent les chaînes parallèles. Citons Amiens, St-Valfroy (près de Montmédy), Brest, St-Martin-de-Chaulieu (près de Mortain), Longeville (près de Bar-le-Duc), Strasbourg sur le parallèle de Paris, Marennes, La Ferlanderie (près de Saintes), Opmes (près de Clermont), Montceau (près de Bourgoin). La Tour de Borda (Dax), Angera, Puy Berceau (Bourges), Breri (Lons-le-Saunier). Ces stations ont été observées par Bonne et Henry, par Brousseau, par Corabœuf.

Les latitudes étaient déterminées soit par visées sur la polaire au voisinage de son passage au méridien, ou mieux par observations d'étoiles circumméridiennes réparties systématiquement au Nord et au Sud pour éliminer certaines erreurs systématiques des cercles répéteurs. On observait également par symétrie Nord-Sud et symétrie zénithale, en observant tantôt l'étoile, tantôt son image réfléchie dans un bain de mercure (on redoutait des flexions de la lunette).

Pour fixer les idées à la station de Dax, Corabœuf trouve par les étoiles au Nord  $L = 43^{\circ}42'47'',04$  et par les étoiles Sud  $L = 43^{\circ}42'37'',13$  et le fait n'est pas isolé. On comprend mieux dans ces conditions les mécomptes de Méchain à Barcelone.

L'azimut astronomique s'obtenait par observation de la polaire au voisinage de sa digression maxima ou sur soleil bas.

Mais le problème essentiel demeurerait celui des longitudes astronomiques. La chronométrie avait fait des progrès considérables, suffisants pour la navigation mais ne permettait pas la précision géodésique requise.

Les discussions théoriques sur la question ont leur écho dans les procès-verbaux des séances du Bureau des Longitudes dès 1804 "... 4 ventose - An XII... On discute les moyens qui peuvent servir à déterminer les différences des méridiens, par les ascensions droites de la lune, 2° par les azimuts et les latitudes, 3° par des feux qu'on puisse voir en même temps de deux points très éloignés"...

"18 ventose An XII (8 mars 1804) : M. Henry est venu demander l'avis du Bureau sur la mesure des degrés de longitude entre Strasbourg et Brest, il fait voir la carte des 79 triangles mesurés vers 1733

mais dont plusieurs sont mal choisis. M. de Laplace expose que le meilleur moyen pour déterminer les différences des méridiens est d'observer les azimuts et les latitudes par le cercle répétiteur".

Ces textes qui prouvent que dès 1804 les milieux scientifiques se préoccupaient de compléter la méridienne de France par un parallèle Strasbourg, Paris, Brest, comme l'avait fait Cassini II, montrent la difficulté du problème des longitudes, tel qu'il se présentait encore à cette époque, même pour assurer le simple raccord cartographique à la méridienne de Paris des réseaux de Suisse et de la Confédération du Rhin observés par Bonne et Henry vers cette époque.

L'opinion de Laplace repose évidemment sur la célèbre équation établie dans sa Mécanique Céleste :

$$A - A' = (M - M') \sin L$$

expression qui lie les azimuts astronomiques A et géodésique A' d'une même direction, en une station connue, de latitude L, aux longitudes astronomiques M et géodésique M' de la station. Dans l'esprit de Laplace, cette équation permettait de calculer (M - M') à partir de (A - A'), mais comme Puissant le fait remarquer et le démontre, l'incertitude sur l'azimut géodésique A', obtenu par transmission d'angles tout le long de la chaîne était très grande et la détermination de (M - M') qui en résultait, était très erronée.

Nous avons déjà vu les fermetures en azimut de la méridienne. Les azimuts des parallèles révèlent des fermetures du même ordre, mais toutes négatives sauf à Paris ; à Brest - 9",7 - Angers - 16",7 - Brer - 37",9 - Marennes - 29",6 - La Ferlanderie - 26",5 - Opmes - 15",8 - Montceau - 15",8 - Colombier - 18",8 - Dax - 41",3 - Marseille Planier - 31",2.

Les valeurs trouvées à La Ferlanderie et à Dax sont particulièrement instructives à ce sujet : ces stations astronomiques sont situées dans un pays où les déviations de verticale varient peu. Or, en 1943 l'IGN a mesuré en des points voisins, Chadenac et Bélus les azimuts de Laplace dont la fermeture, par rapport à la Nouvelle triangulation de France est de l'ordre de quelques secondes sexagésimales.

Bien que les ellipsoïdes de référence soient différents dans les deux cas, ce qui pourrait entraîner sur les longitudes géodésiques M' des différences de l'ordre de 1" à 2" au plus, les valeurs (M - M') sin L devraient être du même ordre de grandeur respectivement, or, il n'en est rien, il y a donc désaccord radical, dû aux transmissions d'azimuts par les angles, ce qui confirme entièrement le point de vue de Puissant : l'équation de Laplace est donc dans l'état actuel des techniques une relation de réorientation.

Finalement, les signaux de feu constituaient la seule méthode praticable.

Le parallèle de Paris sera mesuré de 1818 à 1823 par Henry entre Strasbourg et Paris, par Bonne entre Paris et Brest, les signaux de feu étant produits, conformément aux essais par déflagration de quel-

ques onces de poudre. Voici les résultats de plusieurs déterminations (différences de longitudes en temps - 5 ou 6 relais).

Paris-Brest	Paris-Strasbourg
27 <sup>m</sup> 18 <sup>sec</sup> 35	21 <sup>m</sup> 34 <sup>sec</sup> 90
19 , 31	35 , 17
18 , 74	35 , 92
19 , 02	35 , 32
19 , 04	35 , 59
17 , 19	35 , 53
17 , 03	35 , 76
18 , 38	35 , 57
17 , 32	
18 , 45	
18 , 54	

Nous laissons au lecteur le soin de juger la dispersion des mesures et l'incertitude du résultat, à titre de comparaison, la méthode des signaux de feu donnait pour la différence de longitude entre Paris et Greenwich la valeur 19<sup>m</sup> 21<sup>sec</sup> 62 à comparer avec la valeur actuellement admise de 9<sup>m</sup> 20<sup>sec</sup> 92 ; ces mesures étaient évidemment entachées de l'équation personnelle des observateurs.

L'invention du télégraphe par Morse aux Etats-Unis vers 1835 devait apporter une première réponse à la question.

**La projection de Bonne :** dès 1802 le Dépôt de la Guerre s'était préoccupé de définir une représentation plane de la sphère ou de l'ellipsoïde terrestre susceptible de couvrir une très grande surface en assurant le raccord des levés.

Il suffit pour cela de fixer les images des parallèles et des méridiens en définissant un système d'équations faisant correspondre aux coordonnées géographiques L, M des points de la topographie, un système de deux équations

$$x = f_1(L, M) \quad y = g_1(L, M)$$

exprimant les coordonnées rectangulaires planes x, y de ces points, ainsi que les formules inverses :

$$L = f_2(x, y) \quad M = g_2(x, y)$$

et nous avons, au passage mentionné la projection de la carte de Cassini et les travaux de Lambert.

C'est évidemment le choix des formules, ou une construction géométrique a priori, qui fixe les propriétés mathématiques de la représentation.

Après avoir rappelé qu'il est impossible de développer la surface terrestre sur un plan "sans altérer ses dimensions et sa figure", le Colonel Henry explique : "L'administration a besoin de cartes qui représentent les surfaces des terrains, l'art militaire a besoin des distances des lieux, et la marine de leurs directions... on satisferait à la fois aux besoins des deux autres services au moyen de cartes qui auraient la propriété de représenter l'étendue des pays exactement et les distances des lieux au moins d'une manière très approchée... Telles sont celles qui sont construites suivant la méthode que l'on a adoptée au Dépôt général de la Guerre" (6).

La projection de Bonne — le père du Colonel Bonne — imaginée en 1752 se construit comme suit (fig. 24). L'axe de la projection (méridien de Paris) est rectiligne. On y fixe un point O qui sera

le centre d'une famille de cercles concentriques représentant les parallèles en projection. Le rayon OA du parallèle de latitude  $45^\circ$  est par définition égal à l'apothème du cône tangent à l'ellipsoïde, le long de ce parallèle, donc à la grande normale à l'ellipsoïde à la latitude  $45^\circ$

$$\frac{a}{\sqrt{1 - \frac{e^2}{2}}}$$

Le parallèle de latitude L a pour rayon  $R = N(45) - S$  où S est l'arc de méridien ellipsoïde compris entre la latitude  $45$  et la latitude L. Le pôle P n'est donc pas au point O. Le méridien de longitude M s'obtient point par point, en reportant sur les parallèles, des longueurs égales à la distance curviligne de ce méridien au méridien origine Mo.

Arc  $IJ = r(M - Mo)$ , r étant le rayon du parallèle de l'ellipsoïde.

Cette projection n'était pas conforme, mais elle conservait les surfaces, c'était une projection "équivalente", nous en verrons ultérieurement les conséquences. Quels que soient ses défauts qui d'ailleurs à l'époque n'apparaissaient guère, c'est celle qui servit de support-plan à la carte de l'Etat-Major, et il faudra attendre plus d'un siècle pour que les avantages des projections conformes soient mis pleinement en relief par Jean Laborde.

**Calcul des coordonnées géographiques :** la projection de Bonne n'étant pas conforme interdisait les calculs de coordonnées dans le plan. C'est donc le calcul des coordonnées géographiques L et M des points géodésiques qui permettait la définition correcte de leur position sur l'ellipsoïde. Le problème se posait sous l'aspect suivant : les côtés de triangulation, calculés par le théorème de Legendre étaient, sauf exception très rare, de l'ordre de 60 km au plus et on considérait l'angle S/R, rapport de la longueur S d'un côté au rayon comme infiniment petit du 1<sup>er</sup> ordre soit  $S/R = 1/100$ . L'aplatissement  $\frac{a-b}{a}$ , le carré de l'excentricité  $e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} \approx 2 \frac{a-b}{a}$  étaient des quantités du 1<sup>er</sup> ordre également, par contre l'excès sphérique était du 2<sup>e</sup> ordre  $\approx 10^{-4}$  et on négligeait les termes du 3<sup>e</sup> ordre ( $10^{-6}$ ). Le formulaire était alors des plus simples : considérons le côté AB d'azimut Z issu de A, point connu de coordonnées géographiques L, M et proposons-nous de calculer les coordonnées L', M' du point B.

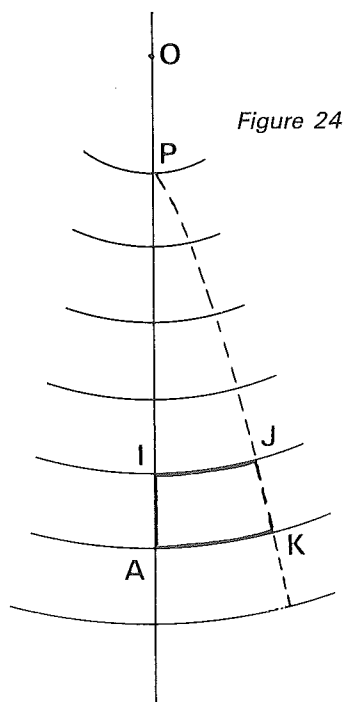


Figure 24

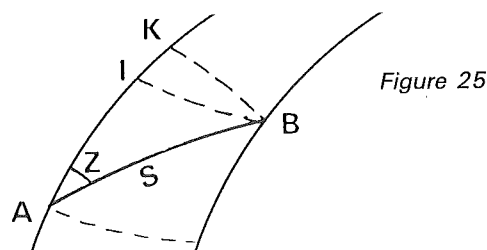


Figure 25

Menons par B la géodésique perpendiculaire au méridien de A en K. Soit I le point de rencontre du parallèle de B avec ce même méridien. Le triangle AKB peut être considéré comme tracé sur la sphère osculatrice de la région, et comme l'excès sphérique est du 2<sup>e</sup> ordre et sera multiplié par l'infiniment petit du 1<sup>er</sup> ordre S/R on peut le négliger. On a donc (fig. 25)

$$\operatorname{tg} \frac{AK}{Ro} = \cos Z \operatorname{tg} \frac{AB}{Ro} \quad AK = S \cos Z \quad BK = S \sin Z$$

L'arc IB est une courbe de courbure géodésique  $\operatorname{tg} L'/Ro$  (résultat connu) donc la distance IK vaut

$$\frac{\operatorname{tg} L'}{2Ro} \cdot BK^2 \approx \frac{\operatorname{tg} L'}{2Ro} \cdot S^2 \sin^2 Z$$

$$\text{La longueur } AI = AK - IK = S \cos Z - \frac{\operatorname{tg} L'}{2Ro} S^2 \sin^2 Z$$

Divisons-la par le rayon de courbure du méridien dans cette région,  $R_1$  :

$$L' - L = \frac{S}{R_1} \cos Z - \operatorname{tg} L' \frac{S^2 \sin^2 Z}{2R_1 Ro}$$

Au 3<sup>e</sup> ordre près on peut remplacer  $\operatorname{tg} L'$  par  $\operatorname{tg} L$  d'où la formule (azimut Z compté à partir du Nord)

$$L' = L + PS \cos Z - QS^2 \sin^2 Z \quad P = 1/R_1 \quad Q = \operatorname{tg} L / 2R_1 Ro$$

Les quantités P et Q étaient des fonctions très lentement variables de la latitude L. Pour la différence de longitude, considérant la sphère tangente au parallèle de B, sur laquelle l'arc de géodésique BK peut être considéré comme tracé, on peut écrire par rapport au pôle de la sphère :

$\sin(M' - M) = S/N \sin Z$  avec N rayon de cette sphère (grande normale) d'où

$$M' - M = S/N \frac{\sin Z}{\cos L'} = RS \frac{\sin Z}{\cos L'}$$

$$\text{posant comme les I.G. } R = \frac{1}{N}$$

et la variation d'azimut  $Z' - Z$  est donnée par la formule de Laplace :

$$Z' - Z = \pm (M' - M) \sin \left( \frac{L' + L}{2} \right)$$

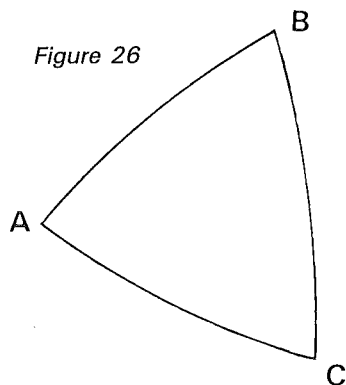
Les fonctions P, Q, R, de la latitude étaient mises en tables (logarithmes).

**Remarques critiques :** on peut s'étonner que des géodésiens aussi avertis que Puissant se soient contentés d'une formulation aussi précaire : en négligeant les termes du 3<sup>e</sup> ordre, le formulaire n'utilisait pas toute la précision du théorème de Legendre, autrement dit, le calcul que nous avons schématisé aurait dû s'écrire plus exactement (fig. 22) E excès sphérique, connu :

$$\frac{AB}{\cos E/3} = \frac{AK}{\cos(Z - 2E/3)} = \frac{BK}{\sin(Z - E/3)}$$

et tenir compte de termes infiniment petits du 3<sup>e</sup> ordre etc...

Sur un côté de 60 km, soit 6 000 "centésimales les termes négligés pouvaient atteindre plusieurs décimètres, moins du fait du côté connu  $AB = S$  calculé correctement par le théorème de Legendre, que des approximations trop sommaires de la formulation. Il en résultait que pour un triangle ABC de côtés connus (fig. 26) et dont les coordonnées géographiques étaient connues en A et B, on obtenait en C des coordonnées et des azimuts différents suivant qu'on les calculait par A ou B. Les discordances pouvaient atteindre plusieurs centièmes de seconde (soit plusieurs décimètres) pour les coordonnées géographiques.



Hossard leur apportera vers 1840 un certain nombre d'améliorations (termes du 3<sup>e</sup> ordre) mais même avec celles-ci le résultat n'était pas parfait.

Il y avait encore plus grave : la triangulation n'était pas compensée.

Lorsque Delambre et Méchain eurent terminé les mesures de la méridienne, on se rappelle qu'ils trouvèrent — c'était tout à fait normal — un désaccord de fermeture entre les bases de Melun et de Perpignan de 0, 14849 toises.

Delambre dans un de ses calculs rétablit l'accord en apportant de petites corrections aux angles des triangles de son enchaînement (2). Mais son problème était simple.

Pour la triangulation des I.G. il était beaucoup plus complexe. On pouvait, ce qui fut fait, calculer les parallèles à partir de la méridienne, s'assurer de l'accord des bases, au besoin le rétablir par des corrections type Delambre sans rien changer à la méridienne, mais lorsqu'on eut mesuré les méridiennes de Sedan et de Bayeux et qu'on les raccorda aux parallèles, partant de l'un d'entre eux pour se fermer sur l'autre apparurent de sérieuses discordances en coordonnées : nous en citons deux exemples.

BULEU		BIARRITZ	
Parallèle de Paris	$L = 53^{\circ} 7089,52$ $M = 3^{\circ} 1772,60$	Parallèle de Rodez	$L = 48^{\circ} 3058,27$ $M = 4^{\circ} 3264,55$
$dL = 2''01$	$20^m$	$dL = 1''79$	$18^m$
$dM = 2''66$	$18^m$	$dM = 4''34$	$35^m$
Méridienne de Bayeux	$L = 53^{\circ} 7091,53$ $M = 3^{\circ} 1775,26$	Parallèle des Pyrénées	$L = 48^{\circ} 3060,06$ $M = 4^{\circ} 3268,89$

Il faut se rappeler que cette triangulation était la charpente de la carte au 1/80.000 et que graphiquement parlant, cette discordance représente 1/2 millimètre, mais tout ceci interdisait toute étude scientifique d'ensemble et créait d'autre part d'inextricables difficultés pour le calcul du 1<sup>er</sup> ordre complémentaire.

Peytier, qui sera de 1851 à 1853 Colonel sous-directeur du Dépôt de la Guerre, Chef de la Géodésie et de la Topographie, après avoir été l'un des héros du parallèle des Pyrénées (1825-1827), pourra écrire à bon droit (30,9) : "... Il est à regretter qu'avant de commencer la publication de la description géométrique de la France, à une époque où les chaînes primordiales étaient seules terminées, et la triangulation intermédiaire peu avancée, M. Puissant n'ait pas entrepris de mettre les chaînes d'accord entre elles au moyen de petites corrections effectuées sur les angles des triangles... on aurait pu calculer les espaces intermédiaires par une suite d'enchaînements de triangles allant d'une chaîne primordiale à l'autre, et que l'on aurait également corrigée de manière à opérer l'accord à la jonction... on conçoit que ce n'eut pas été une opération facile de faire accorder en même temps les côtés des triangles et les positions géographiques... personne n'était plus que M. Puissant en état de résoudre ces difficultés... maintenant que toute la triangulation de 1<sup>er</sup> ordre est terminée, ce serait un immense travail que de mettre tout d'accord... il est cependant nécessaire qu'il soit entrepris".

Il ne le fut pas.

De nombreuses raisons l'expliquent :

— pour qu'une géodésie puisse être homogène, il faut la compenser, donc attendre que son cadre ait été complètement observé et calculé selon les règles.

Ceci n'est guère compatible avec les besoins de la topographie lorsque levés et observations géodésiques sont entrepris simultanément. On est alors amené à calculer une géodésie provisoire, là où les levés topographiques seront entrepris en priorité ; des réseaux indépendants se créent çà et là, il se développent et lorsqu'ils se rejoignent, c'est la catastrophe aux raccords.

Même de nos jours, avec le concours des ordinateurs, la compensation du réseau des I.G. serait un travail important exigeant réflexion et préparation.

A l'époque le problème fut sous-estimé, les instructions des commissions (30,6) précisent "... les calculs définitifs des triangles observés dans une campagne se feront dans les mois d'hiver, et devront être terminés avant la reprise des travaux sur le terrain... lorsqu'il aura été fait des opérations délicates, soit trigonométriques, soit astronomiques, les calculs définitifs de ces opérations pourront être soumis, si on le juge convenable, à une commission particulière nommée pour les examiner, mais on fera toujours en sorte que l'ensemble du travail soit terminé avant le commencement de la campagne suivante".

Les calculs étaient faits par l'opérateur lui-même.

Peytier ajoute (30,9) que le travail d'accorder la triangulation sera possible lorsque l'achèvement des opérations du 2<sup>e</sup> ordre permettra d'y employer deux ou trois officiers... "en d'autres termes, il n'y avait pas de Bureau de calcul spécialisé, il n'y eut pas de plan de calcul, et lorsque l'on s'en avisa, il était trop tard, d'autre part, les deux ou trois officiers auraient été complètement débordés. Si on veut faire une évaluation assez optimiste des

moyens à mettre en œuvre pour compenser le réseau de 1<sup>er</sup> ordre (1 000 points environ) avec les moyens de l'époque et en fractionnant, c'est à notre avis 30 ou 40 années de calculateur expérimenté qui auraient été nécessaires.

Les canevas de triangulation furent donc, pour les besoins des levés topographiques, calculés ou recalculés par feuille de la carte au 1/80 000 ce qui eut pour effet d'homogénéiser chaque feuille, mais de reporter les "cassures" sur les limites de chacune. Les répercussions s'en feront encore sentir jusqu'en 1940-1945, comme nous le verrons plus loin.

### Les acteurs

Louis Puissant (1769-1843) fut le cerveau et le théoricien des travaux.

De naissance très pauvre, orphelin, il avait été placé à l'âge de treize ans comme saute-ruisseau chez un notaire arpenteur, puis remarqué par un Ingénieur des Ponts et Chaussées, Lomet qui devait jouer un rôle important à l'époque de la Révolution. Celui-ci le fit instruire et Puissant rentra en 1790 au Dépôt de la Guerre, il fit campagne contre l'Espagne en 1794, se distingua par son habileté dans le dessin topographique et à la paix de Bâle rentra à Paris où il suivit les cours de Lagrange et Laplace. Après un séjour de professeur à Agen, il réintègre le Dépôt de la Guerre, procède à une triangulation remarquée de l'Île d'Elbe, puis sous les ordres de Brossier participe à la triangulation de Lombardie (1803-1804).

La 1<sup>re</sup> édition de son Traité de Géodésie paraît en 1805. Il est nommé Professeur au Dépôt de la Guerre, où de nombreux I.G. seront ses élèves en particulier ceux qui feront les observations de la triangulation de la carte de l'Etat-Major. Il sera nommé à l'Académie des Sciences en 1828, au fauteuil de Laplace, son protecteur scientifique.

Son Traité de Géodésie — 3<sup>e</sup> édition — paraît en 1842. Essentiellement conçu dans un but didactique, il contient toute la géodésie géométrique de l'époque, depuis les notions de base — Astronomie de position, les deux trigonométries — jusqu'aux travaux de terrain. Observations angulaires, mesures de bases, calculs de triangulation, nivellement trigonométrique, calcul de la précision... etc.

Il fut en fait le premier à faire de la géodésie un corps de doctrine, et de présenter une synthèse des travaux de Delambre, et sous une forme allégée et plus élégante ; le plan général de son ouvrage servira de modèle à ses successeurs qui l'adopteront en rajeunissant les parties techniques, mais en conservant les méthodes mathématiques, y compris certains tics comme l'emploi systématique de développements en série, là où des fonctions finies, d'ailleurs connues, auraient évité certaines approximations. D'une manière générale beaucoup de difficultés auraient été surmontées par l'emploi de tables à 9 décimales dont on semble avoir voulu éviter l'édition, ainsi que par le calcul des tables auxiliaires différentes de celles des P, Q, R, qui auraient permis plus de rigueur — mais il est facile de critiquer, 150 ans après, des choix dont les vrais motifs nous échappent. Pourtant les remarques de Peytier restent valables et fondées.

**Les observateurs :** le tableau ci-dessous résume l'avancement des observations des chaînes de 1<sup>er</sup> ordre de 1818 à 1830.

Chaînes	Epoque	Observateurs
Parallèle d'Amiens	1819-1822	Delahaye - Peytier (Ouest) Corabœuf - Testu (Est)
Parallèle de Paris	1818-1823	Henry - Levillain, Martner, Faulté Bonne - Montalant, Foulard, Burtahote, Clément
Parallèle de Bourges	1818-1824	Corabœuf - Loreilhe, Salleneuve, Reverdit (Ouest) Corabœuf - Testu (Est)
Parallèle moyen	1818-1821	Brousseau - Lecamus, Large- teau (Ouest) Brousseau - Savary
Parallèle de Rodez	1823-1827	Foulard - Servier (Ouest) Durand - Rozet (Est)
Parallèle des Pyrénées	1825-1827	Corabœuf - Testu (Est) Peytier - Hossard (Ouest)
Méridienne de Strasbourg	1804	Henry (pour mémoire)
Méridienne de Sedan	1820-1825	Delcros - Poudra (Nord) Clément - Condeaux (Centre) Delcros - Couthaud (Sud)
Méridienne de Fontainebleau	1826-1827	Delcros - Rozet, Stamaty
Méridienne de Bayeux	1818-1829	Delahaye - Peytier, Faulté (Centre) Delcros - Fossard, Poudra

Les espaces de 1<sup>er</sup> ordre complémentaire furent observés de 1816 à 1844 — époque d'achèvement des travaux de géodésie du 1<sup>er</sup> ordre. Les dates écrites sur la carte de la figure 22 sont celles du début des opérations dans chacun des espaces considérés (durée des travaux 2 à 3 ans en moyenne) toutefois il y a parfois ambiguïté sur les dates, les limites des travaux étant souvent mal précisées (6), (30,9). D'autres observateurs y participèrent : Sion, Béraud, Lecesne, Defronsure, Clément, Filhon etc... Bien qu'en 1831, le corps des Ingénieurs Géographes ait fonctionné avec l'Etat-Major — d'où le nom de la carte — ce sont presque toujours d'anciens Ingénieurs Géographes qui observeront la triangulation.

Certaines missions furent difficiles et la postérité retiendra quelques sensationnelles premières dans les Pyrénées et dans les Alpes, racontées d'ailleurs sans la moindre emphase et presque en s'excusant de la lenteur du travail due aux difficultés matérielles ou climatiques :

— c'est en 1864 seulement, qu'en croyant réaliser la première du Balaïtous deux pyrénéistes découvriront au sommet, les restes du campement de Peytier et Hossard (1826) montés à partir "du plan d'Arribit en cinq heures au pic,... avec des passa-



Fig. 27 : Au signal de Liouzes (illustration reproduite de l'ouvrage de Beraldi : *Balaïtous et Pelvoux*).

ges fort mauvais", où il a fallu encorder hommes et matériel ;

— la station de la Troumouse exige de 7 h, à 8 h, de grimpe à partir d'Héas au d'Aragnouet "il y a après le port des passages fort dangereux qui exigent environ trois quarts d'heure pour les traverser". La Troumouse sera "la plus difficile des stations ; le porteur du cercle attaché et soutenu par deux hommes, sans cette précaution il serait probablement tombé dans le cirque avec l'instrument" ;

— Durand qui mourra fou, physiquement épuisé après sept campagnes dans les Alpes où il avait fait la première du Pelvoux — le refuge Durand fut son campement — explique son ascension... "... on arrive sur le bord du glacier on le traverse sur des dos de glace séparés par d'énormes crevasses. On fait des marches dans la glace avec une hache... on arrive enfin près d'un rocher offrant un escarpement presque vertical de 1 500 mètres à peu près, qu'il faut gravir pour arriver sur le sommet... on arrive enfin au pied du rocher sur lequel est établi le signal. Là on a établi à la hâte une baraque en pierres sèches que l'on a couverte avec deux grandes toiles superposées et où j'ai couché... on met à peu près vingt heures pour aller de Villevallouise sur le sommet du Pelvoux".

Durand avait en 1827 réalisé le premier rattachement direct continent-Corse à partir de ses sommets de la Côte de Provence, sur le Cinto et le Paglia d'Orba.

Il mourut en 1835 à l'asile d'aliénés de Charenton, désespéré de n'avoir pas eu depuis 1814 où il avait été nommé capitaine, un avancement au grade supérieur. Et pourtant...

Pour le récit détaillé des tribulations des uns et des autres, on consultera l'ouvrage de G. Beraldi : *Balaïtous et Pelvoux*.

Les travaux de triangulation de 1<sup>er</sup> ordre sont résumés dans de magnifiques dossiers, d'une exemplaire clarté, illustrés par des aquarelles décrivant la position des signaux, y ajoutant des détails humoristiques comme celle du sommet de la Ferté-Vidame (parallèle de Paris-Ouest) où le fermier du voisinage est peint avec son bonnet de coton, appuyé sur la barrière qui le sépare du signal de charpente. On y trouve également une coupe d'une des tours de la cathédrale de Chartres, de la tour de la cathédrale de Rodez qui sont des chefs-d'œuvre de dessin d'architecture.

La reproduction ci-dessus est celle de la fuite des géodésiens, sous l'orage qui les menace, au signal

de Liouzes (chaîne des Pyrénées) et le croquis en hachures, œuvre de Peytier, est un levé expédié du sommet de la Troumouse, indiquant entr'autres l'emplacement de la tente des géodésiens "... à 15 mètres du signal sur une pente d'éboulis de 30 ou 40 degrés, à l'abri du vent d'Ouest".

Il est difficile de porter un jugement d'ensemble sur la triangulation des Ingénieurs Géographes. L'impression qui se dégage d'un examen critique reste assez mélangée : il est incontestable, si on se borne aux fermetures des triangles qu'avec les mêmes instruments elle n'atteignit point la précision des mesures de la méridienne de Delambre, et pourtant certaines chaînes sont bonnes, mais on ne peut s'empêcher d'être surpris des fermetures en coordonnées aux jonctions. Proviennent-elles d'erreurs systématiques, de négligences locales, de défauts de la méridienne d'appui — on ne sait. La précision apparente aurait dû cependant assurer de meilleurs raccords. On peut également penser que les méthodes de calcul des coordonnées étaient trop légères, et qu'au pays de Legendre on pouvait faire et surtout obtenir mieux, impression sans doute pessimiste et qui reconnaît mal les mérites et la foi d'opérateurs qui se dépensèrent sans compter.

Un grand bureau des calculs et de documentation géodésique aurait été nécessaire mais cet aspect peu spectaculaire des travaux dérouta toujours les non-spécialistes et les crédits ne lui sont attribués qu'en rechignant, même par les autorités internes.

## N.D.L.R.

*Dans notre n° 22, trois lignes de l'article de J.-J. Levallois ont été fâcheusement inversées au tirage. Nous prions l'auteur et nos lecteurs de nous en excuser, et de bien vouloir rétablir page 10, colonne de gauche, ligne 19 le texte original.*

Tous ces officiers mènent une vie très dure, fouaillés par la rude poigne de l'Empereur et de Berthier. Le cabinet topographique personnel de Napoléon, commandé par Bacler d'Albe, a sans cesse besoin de documents cartographiques nouveaux, parfois à exemplaire unique, qu'il ne restitue pas au Dépôt de la Guerre et Sanson doit parer au plus pressé, accumuler ordres et contrordres, sauter d'un levé inachevé à un autre plus urgent, etc.

La figure 21, photographie tirée de (30,8) reproduit un ordre de Napoléon, alors à Vienne, 15 jours avant Austerlitz. Même, exécutés dans les conditions indiquées "au pas et dessinées à vue", on se demande encore comment de tels levés pouvaient être menés à bien.

### PIC DE TROUMOUSE

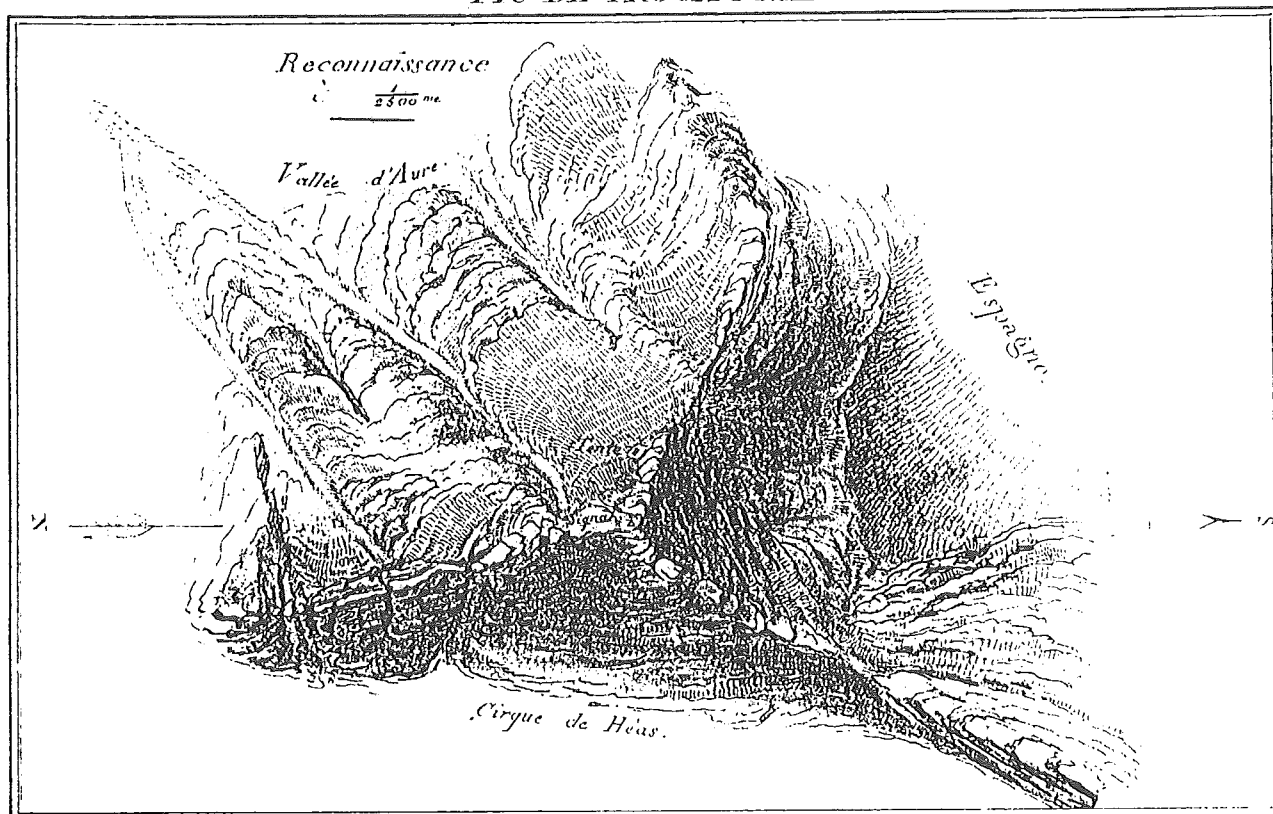


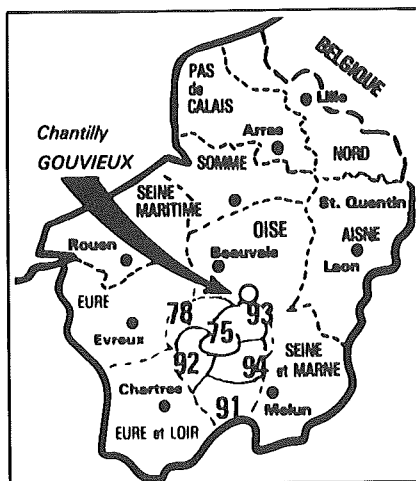
Fig. 28 : Pic de Troumouse (illustration reproduite d'après l'ouvrage de Beraldi : Balaitous et Pelvoux).

## Bibliographie

- (1) *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences - Tome VII - 1666-1695.*
- (2) J.-B. Delambre : *Grandeur et Figure de la Terre - Publié par les soins de G. Bigourdan.*
- (3) J.-B. Delambre : *Histoire de l'Astronomie, Astronomie moderne - Tome III.*
- (4) L. Gallois : *l'Académie des Sciences et les origines de la Carte de Cassini - Annales de géographie - 1909 n° 99.*
- (5) R. Taton : *J. Picard et la mesure de l'arc du Méridien Paris-Amiens - Colloques internationaux du CNRS - n° 590. La découverte de la France au XVII<sup>e</sup> siècle.*
- (6) Colonel Berthaud : *la carte de France 1780-1898. Service géographique de l'Armée - 1898.*
- (7) J.-J. Levallois : *la détermination du rayon terrestre par J. Picard en 1669-1671 - Bulletin géodésique - Volume 57 - 1983.*
- (8) *Annuaire du Bureau des Longitudes - 1974.*
- (9) A. Danjon et A. Conder : *Lunettes et Télescopes. A. Blanchard - Paris.*
- (10) La Hire : *Traité du Nivellement par M. Picard de l'Académie des Sciences, avec une relation de quelques nivellements faits par ordre du Roy... mis en lumière par les soins de M. de La Hire.*
- (11,N) *Mémoires ou Histoire de l'Académie des Sciences (année N).*
- (12) J. Cassini : *Traité de la grandeur et de la Figure de la Terre (1723).*
- (13) Cassini de Thury : *La méridienne de l'Observatoire Royal de Paris vérifiée dans toute l'étendue du Royaume (1744).*
- (14) Cassini de Thury : *Description géométrique de la France (1780).*
- (15) Maupertuis : *Oeuvre de M. de Maupertuis (4 tomes).*
  - a) *Discours sur les différentes figures des astres.*
  - b) *Mesure de la terre au cercle polaire.*
  - c) *Relation du voyage fait par ordre du Roi au cercle polaire, pour déterminer la figure de la Terre.*
- (16) Authier : *Journal d'un voyage au Nord en 1736 et 1737.*
- (17) P. Bouguer : *La figure de la Terre, déterminée par les observations de MM. Bouguer et La Condamine.*
- (18,a) Ch. de La Condamine : *Journal d'un voyage fait par ordre du Roi à l'Equateur.*
- (18, b) Ch. de La Condamine : *Mesure des trois premiers degrés du Méridien dans l'hémisphère austral.*
- (19) Florence Trystram : *Le procès des étoiles - Seghers 1979.*
- (20) Cl. Clairaut : *Théorie de la figure de la Terre tirée de l'Hydrostatique.*
- (21) J.-J. Levallois : *Géodésie générale (tome III).*
- (22) J. Svanberg : *Exposition des opérations faites en Laponie, pour la détermination d'un arc de Méridien en 1801, 1802 et 1803.*
- (23) J. Leinberg : *Über die Ergebnisse der Maupertuischen Gradmessung in Lappland (CR de la quatrième séance de la Commission géodésique Baltique - 1929).*
- (24,n) J. Delambre : *Les bases du système métrique décimal (3 tomes).*
- (25) G. Bigourdan : *Le système métrique des Poids et Mesures.*
- (26,n) F. Tisserand : *Traité de Mécanique Céleste (tome n).*
- (27) Todhunter : *History of the theories of Attraction and of the Figure of the Earth.*
- (28,n) Laplace : *Traité de mécanique céleste (livre a).*
- (29) G. Perrier : *Petite histoire de la géodésie.*
- (30,n) *Mémorial du Dépôt de la Guerre (tome n).*
- (31) *CR des séances du Bureau des Longitudes (1807-1809).*
- (32) Best et Arago : *Recueil d'observations géodésiques et astronomiques exécutées par ordre du Bureau des Longitudes.*
- (33) Ch. Berthaut : *Les Ingénieurs Géographes Militaires.*
- (34) L. Puissant : *Traité de géodésie - 3<sup>e</sup> édition - 1842.*
- (35) Breton de Champ : *Traité de Nivellement.*
- (36) L. Puissant : *Traité de Topographie, d'Arpentage et de Nivellement.*
- (37) B. Pascal : *Oeuvres complètes - Edition de la Pléiade.*
- (38) G. Darboux : *Eloge historique de François Perrier (AdS).*
- (39) G. Bigourdan : *Le Bureau des Longitudes (Annales de 1928-1929-1930-1931-1932-1933).*
- (40) Bassot : *Bulletin de la Société de géographie - La géodésie française (1891).*



# MESURES ET SYSTEMES



## AGENT REGIONAL DISTRIBUTEUR

distancemètres  **Geodimeter** de Géotronics pour la Région Parisienne et le Nord.

Une gamme complète de distancemètres :

- Intégrés .
- Montables sur théodolites .
- Enregistreurs de données .

**PENSEZ EFFICACITE ET COMPAREZ  
CHEZ NOUS UN GEODIMETRE ADAPTE  
A CHACUN DE VOS BESOINS.**



**des distancemètres performants  
qui ont le vent en poupe.**

**Découvrez un nouvel outil rentable**

## UN POIDS PLUME...

- Distance horizontale et dénivelée entièrement automatiques.
- Rapidité : Tracking rapide continu.  
"Visez ! La distance horizontale est là".  
On peut suivre une cible mobile à la vitesse de 14 km/h.
- Liaison phonique Unicom intégrée : pour donner des informations au porte-prisme, jusqu'à 1600 m.



- Simplicité d'emploi.
- Tracklight : faisceau guide de lumière clignotante rouge/vert pour les implantations.
- Dénivelée en continu pour implantations altimétriques.
- Portée 1600 m sur 1 prisme.

**... QUI A DU PUNCH !!!**

Le nouveau Géodimètre  
M 220

**nous ne prenons pas de gants pour l'affirmer !**

**MESURES ET SYSTEMES S.A.**

12, Allée des Basses Garennes  
60270 GOUVIEUX - FRANCE  
\*Tél. : 16 (4) 457.27.97  
Télex : MESYST 150.153 F

\* par le 16 obligatoire, sauf depuis l'Oise.

☐ Désire une documentation sur : GDM 220

☐ Désire une démonstration

NOM : \_\_\_\_\_

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

TÉL. : \_\_\_\_\_

# LA PHOTOGRAMMÉTRIE : UNE TECHNIQUE D'ACQUISITION DE DONNÉES POUR LES SYSTÈMES D'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE

---

*Par Erick Van Der Zee*

## 1 — Introduction

Les problèmes contemporains qui concernent la santé, le logement, l'alimentation, l'emploi, etc. deviennent de plus en plus complexes sous la pression croissante et conjuguée d'une augmentation de la population et d'une diminution des ressources alimentaires et des matières premières.

Une partie de l'information qui conduit à la résolution d'un problème posé est liée à sa localisation sur la surface de la Terre. C'est pourquoi nous l'appellerons "information géographique".

La complexité des problèmes à résoudre exige une information obtenue à partir de renseignements extraits de sources différentes.

L'information géographique est elle-même obtenue à partir de données géographiques comme, par exemple, celles relatives à la pédagogie, à l'habitat, aux ressources hydriques, aux ressources naturelles, aux données socio-économiques, etc.

Afin d'intégrer et de traiter des données géographiques provenant de sources différentes de renseignements, il est nécessaire de disposer d'un Système d'Information Géographique (SIG).

Bien qu'un système d'information entièrement analogique soit imaginable, la préférence va à un système d'information plus ou moins automatisé en raison d'une part de la complexité grandissante des problèmes à résoudre, et d'autre part de la baisse des prix et de la disponibilité du matériel et du logiciel.

L'ITC, en sa qualité d'institut avancé dans l'étude pour l'acquisition des données géographiques à l'aide de levés aérospatiaux exécutés dans des disciplines différentes des sciences de la Terre, étudie le traitement de ces données et la présentation de cette information.

L'ITC est très engagé dans l'enseignement, la recherche et la consultation dans le domaine des systèmes d'information géographique, considérés comme contributions à la résolution des problèmes déjà mentionnés.

Cette communication a pour objet de montrer que la photogrammétrie peut jouer un rôle important comme partie d'un SIG.

## 2 — Systèmes d'information géographique

Afin d'identifier clairement la contribution de la photogrammétrie à un SIG, on passera tout d'abord en revue les aspects différents d'un tel système.

### 2.1 — Définition

Un système d'information géographique est l'ensemble d'une méthodologie, de moyens financiers et matériels et de spécialistes, concourant à la saisie et au traitement des données, puis à la présentation des informations.

### 2.2 — But

Avant de concevoir un SIG, il faut que le problème à résoudre soit rigoureusement connu, c'est à dire que soit parfaitement définie la nature de l'information nécessaire à la résolution du problème.

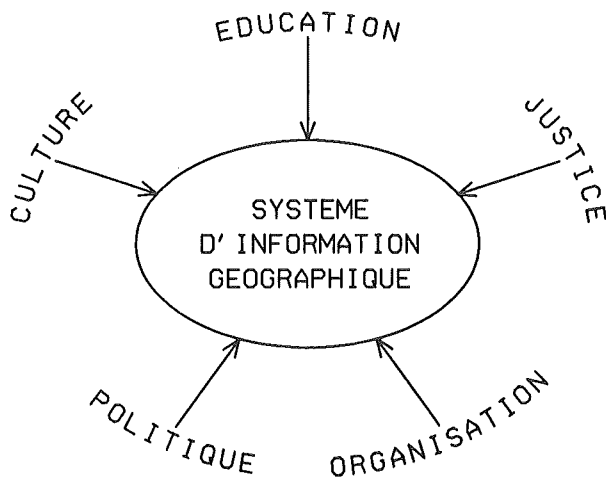
Le domaine du problème à résoudre fixe en fait tous les autres aspects d'un SIG. Dans la littérature professionnelle on distingue deux catégories de SIG :

1. celui orienté vers un but précis : un problème spécifique doit être résolu, par exemple l'évaluation des terres ou leur taxation ;
2. celui orienté vers des buts non précisément définis lors de la conception : il s'agit d'un mélange de problèmes moins spécifiques mais ponctuels ; par exemple un SIG peut servir à connaître les réseaux de distribution et répondre à la question : quel est l'endroit le plus approprié pour l'installation d'un système d'égoûts ? Mais aussi il peut par exemple répondre à la question : quels sont les vannes qui doivent être fermées pour prévenir une catastrophe dans le cas d'une fuite de gaz ?

### 2.3 — Les influences externes

La disponibilité de fonds, d'équipement et de main-d'œuvre n'est pas la seule condition pour le fonctionnement d'un SIG.

Beaucoup d'autres facteurs propres à l'environnement doivent être considérés, tels que les facteurs politiques, culturels, éducatifs, juridiques et d'infrastructure propre à l'organisme chargé de la mise sur pied et de l'utilisation du SIG.

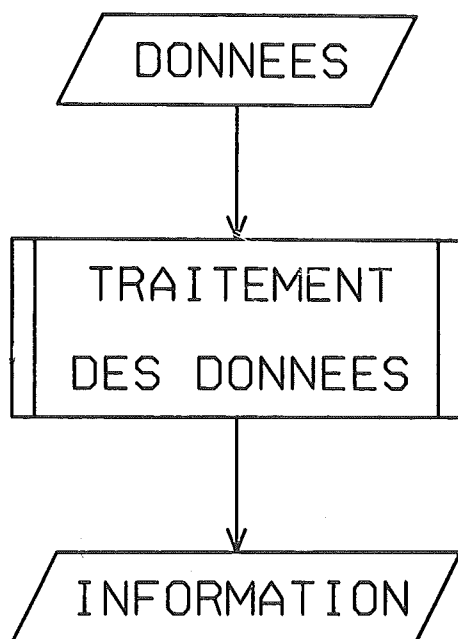


- politique : les hommes politiques sont-ils convaincus de l'utilité d'un SIG ? Ou le considèrent-ils comme une atteinte à leur autorité ?
- culturel : la société reconnaît-elle l'information produite par un SIG, ou considère-t-elle le SIG comme une chose magique ?
- éducatif : les établissements locaux d'éducation peuvent-ils fournir une connaissance suffisante pour l'utilisation d'ordinateurs à des disciplines diverses ? Ou l'utilisation d'ordinateurs doit-elle être introduite dans le programme des écoles secondaires ?
- juridique : la loi permet-elle de stocker certains types de données ? Ou le système doit-il permettre des niveaux d'accès différents ?
- propres à l'organisme : l'organisme est-il prêt à utiliser un SIG ?

Tous ces facteurs peuvent influencer les aspects suivants d'un SIG.

#### 2.4 - Les données et l'information

Des données sont des faits saisis soit sur le terrain (la réalité), soit à partir d'une représentation de cette réalité plus ou moins limitée (par exemple une carte ou une photo aérienne).



Une information est une réponse à une question spécifique : (où, quand, comment !)

Une information est fournie par des données. En d'autres termes, les données sont les matières premières à partir desquelles le "produit" qu'est l'information est "manufacturé" dans "l'usine" que l'on appelle le SIG. Dans certains cas certaines informations peuvent même être utilisées comme des données (il s'agit de "produits intermédiaires") pour élaborer d'autres produits d'information à un niveau plus élevé.

#### 2.5 - Données concernant la position, les attributs et la qualité

La position des données est fixée en termes de coordonnées X, Y, Z. les données de position peuvent se présenter comme des objets graphiques caractéristiques :

- des points ;
- des lignes (définies par un ensemble de points) ;
- des surfaces (définies par un ensemble de lignes).

Un détail graphique est considéré comme une unité ayant une signification ; nous appellerons cette signification :

entité par exemple : un arbre est une entité point (sa représentation est un point) ; le bord d'une route (c'est une ligne), un bâtiment (c'est une surface).

Afin de décrire la nature d'un objet graphique, un ou plusieurs attributs y sont rattachés.

### OBJET PONCTUEL

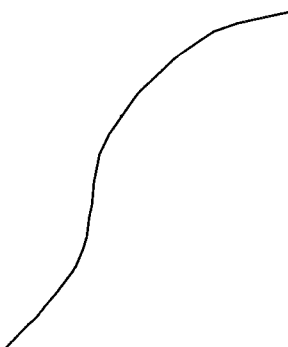


ARBRE.

. DIAMETRE

. ESSENCE

### OBJET LINEAIRE

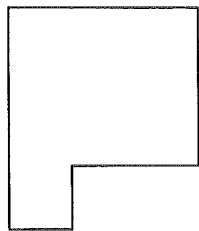


ROUTE.

. LARGEUR

. REVETEMENT

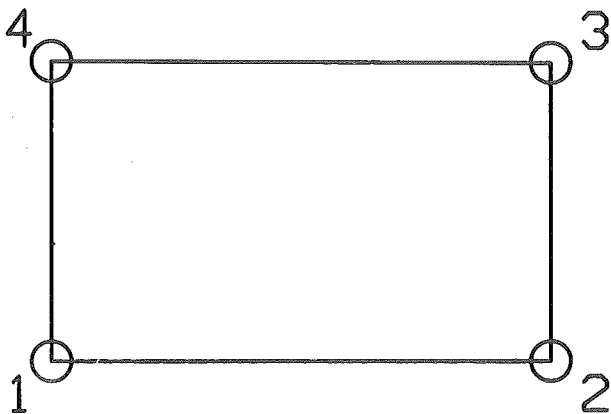
### OBJET SUPERFICIEL



BATIMENT.

- . TYPE
- . SUPERFICIE
- . PROPRIETAIRE

La surface qui est représentée sur la fig. ci-dessous sera comme un ensemble de lignes, définies par les coordonnées des points 1, 2, 3 et 4. L'objet "bâti-



ment" peut avoir les attributs "type de bâtiment", numéro du "bâtiment" et "nombre d'occupants". C'est seulement lorsque les valeurs des attributs, par exemple "type de bâtiment" = maison, qui sont rattachés à cet objet que celui-ci aura une signification et deviendra un élément (occurrence) d'une entité.

Afin d'indiquer la qualité des données propres à un objet [1,3], des spécifications doivent y être rattachées :

- la précision : l'incertitude de la définition et des paramètres assignés à l'objet ;
- la fidélité : la probabilité d'identifier des données fausses ;
- l'actualité : la datation de la dernière mise à jour.

Quand les objets sont "stockés" sous forme graphique (la carte) les besoins de précision sont fixés par l'échelle et la précision du report ; la fidélité n'est guère indiquée ; l'actualité peut être indiquée par une date en marge de la coupure.

La qualité des données figurant sur une carte est indiquée par une indication valable pour la coupure ou même pour une série de coupures.

Par contre le stockage numérique de données dans un SIG exige une indication de qualité pour chaque objet. Des recherches doivent encore être faites en ce sens.

### 2.6 - Les techniques d'acquisition des données

Un certain nombre de techniques d'acquisition des données géographiques sont à notre disposition.

#### 2.6.1.- Le levé terrestre

Cette technique permet d'obtenir les coordonnées des objets, saisies par des méthodes directes ou indirectes. Les objets sont classés suivant une description ou un code. Une explication plus poussée ne semble pas nécessaire.

#### 2.6.2.- L'interruption d'images de la Terre

Les images utilisées pour l'acquisition de données géographiques résultent de saisies aérospatiales, c'est-à-dire la photographie aérienne et la télédétection.

L'interprétation des images concerne l'identification et la classification visuelle ou numérique des objets liés à la Terre. Des techniques pour l'identification et la classification automatisées des objets sont en cours d'étude, mais elles ne sont pas encore employées en photogrammétrie où l'on en est encore à la classification visuelle. Certaines valeurs d'attributs peuvent être obtenues par interprétation des images, comme le type des chaussées routières, les végétaux sur les terres arables, etc.

#### 2.6.3.- La photogrammétrie

La position des objets peut être déterminée à partir des photographies aériennes redressées ou non ou des images de satellites, que ce soient des images simples ou stéréoscopiques.

Les coordonnées numérisées de chaque objet seront stockées et sa classification lui sera rattachée au moyen d'un code.

La détermination photogrammétrique automatique de la position est un domaine de recherches qui demande encore beaucoup d'efforts. La détermination visuelle aussi bien qu'automatique de la position d'objets ne peut être faite sans un minimum d'interprétation d'images.

La détermination des altitudes peut être divisée selon deux groupes :

— La détermination des altitudes du terrain, conduisant aux modèles numériques d'altitudes (MNA) et à des produits dérivés, comme les courbes de niveau, la représentation du relief, etc.

— la détermination de la hauteur des objets d'équipement (par exemple la hauteur d'un bâtiment).

Des méthodes manuelles de détermination des altitudes de terrain sont actuellement exploitées (Makarovic), tandis que des méthodes automatiques (la corrélation automatique des images) sont toujours à l'étude [4].

En identification automatique, il est nécessaire d'identifier les objets dont les altitudes doivent être négligées, comme les bâtiments, les ponts, etc.

La détermination de la hauteur des objets d'équipement doit encore être faite manuellement ; la détermination automatique dépend des développements dans le domaine de l'identification et de la classification automatique.

La hauteur d'un objet d'équipement peut être rattachée comme attribut à un objet.

#### 2.6.4—La numérisation cartographique

La position des objets peut aussi être obtenue à partir de cartes existantes.

Plusieurs types d'équipements de numérisation sont aujourd'hui disponibles allant de l'équipement manuel à l'équipement totalement automatique "balayage" en passant par l'équipement semi-automatique (suivi de courbes). La méthode entièrement automatique sera la seule économique quand l'identification et la classification automatiques des objets seront possibles pour les travaux courants, ce qui n'est pas encore le cas.

En passant d'un SIG graphique à un SIG numérique, la numérisation des cartes existantes semble être le goulot d'étranglement, en partie à cause de la technique, mais surtout en raison du manque de moyens financiers et du manque de temps.

#### 2.6.5—La saisie des données socio-économiques

Selon l'objet du SIG, un certain nombre d'objets ou d'attributs ne peuvent pas être obtenus à l'aide des méthodes écrites précédemment (sous 2.6.1 ou 2.6.2) car ils ne sont pas visibles sur le terrain, les photographies ou les images de satellite. Les objets à saisir sont par exemple les limites administratives (comme les limites municipales), les limites définissant une circonscription scolaire ou un itinéraire d'autobus.

Les attributs à saisir sont par exemple les noms des rues, les numéros des bâtiments, leur qualité, le nombre de leurs occupants ou le nom de leur propriétaire. Ces données sont saisies directement sur le terrain par observation visuelle ou enquête, ou auprès des administrations (à la mairie, au bureau du cadastre, etc.).

#### 2.7—Conversion des données en information

Il a déjà été mentionné : l'information est considérée comme une réponse à une question spécifique ; en général sa valeur sera supérieure à celle de la somme des éléments de données qui la composent. Les données doivent être stockées à un niveau optimal de traitement, c'est-à-dire de façon telle qu'elles ne soient pas trop évoluées pour pouvoir satisfaire toutes les demandes (ultérieures) d'information, mais aussi pour limiter le traitement des données à un minimum.

En général des données de position peuvent être stockées au niveau correspondant aux coordonnées terrestres. Ce qui veut dire que les angles et les distances mesurés doivent être convertis (cas des levés au sol) et que les coordonnées cliché du modèle (cas de la photogrammétrie) soient aussi converties en coordonnées - terrain.

Ce sont les coordonnées terrestres qui seront seules stockées dans la base des données.

Les objets sont définis par les relations qui existent entre les coordonnées. A cause de la complexité des procédures de traitement, de la fréquence des demandes et de la qualité des données à traiter, l'information peut être élaborée, soit pendant la phase de préparation (elle est dans ce cas stockée définitivement comme attribut) soit au moment d'une demande spécifique d'information. Les surfa-

ces des parcelles pourraient être calculées pendant la phase de préparation et stockées comme un attribut de l'objet qu'est la parcelle, tandis que la proportion entre la surface totale et la surface construite peut être calculée au moment de la demande.

Citons quelques exemples d'informations pouvant être élaborées à partir de données géographiques :

- La distance moyenne à parcourir entre la ferme et les parcelles d'une exploitation agricole, distance pondérée par rapport aux surfaces des parcelles ;
- En ville les emplacements les meilleurs pour les écoles en fonction de la distribution des âges, de la densité de la population et des prévisions des naissances ;
- toutes les régions qui sont les mieux appropriées pour un certain type d'agriculture, en fonction du type de sol, des précipitations pluviales, du drainage, de l'accessibilité des parcelles et de la distance au marché.

Le traitement automatisé des données donne la possibilité d'appliquer des procédures plus compliquées afin d'intégrer des types différents de données en un temps réduit.

Les qualités (la précision, la fidélité et l'actualité) des informations dépendent directement de la qualité des données. La conversion des données en information devrait inclure le calcul de la qualité résultante de l'information. Ceci implique que des caractéristiques de qualité devraient être rattachées aux données et à l'information et que les études devraient être faites en ce sens.

#### 2.8 Présentation de l'information

En réponse à une question spécifique, l'information n'aura de sens pour l'utilisateur que si elle lui est présentée d'une manière "lisible", compréhensible et utile.

L'information peut être présentée de trois manières :

- les cartes ;
- les diagrammes ;
- les tableaux.

Une carte sera le document de sortie le plus important d'un SIG. Sa présentation devrait être telle que seule y figure l'information demandée par l'utilisateur, et telle que ce dernier puisse l'utiliser dans le but pour lequel il en a besoin.

Ceci entend qu'un vaste assortiment de cartes peut être fourni par un SIG.

Le support physique peut présenter les caractéristiques suivantes :

- permanent (sur papier, film, etc.) ou temporaire (sur écran) ;
- système à points (vectoriel) ou système cellulaire (à trame)
- en couleur ou en noir et blanc.

L'échelle de la carte est fixée soit par la décision de l'information demandée soit par l'objet de la carte, soit pour l'un et l'autre, et non l'inverse comme c'est le cas en cartographie conventionnelle.

L'échelle d'une carte utilisée pour mesurer des distances doit être choisie en concordance avec la précision demandée et comme un multiple de 100 ou

## ...Premier Congrès International de l'AFT

1000, tandis que l'échelle d'une carte utilisée pour illustrer un écrit sera fixée par les dimensions d'édition du livre ou du rapport.

Les indications concernant la qualité des informations présentées sur une carte ne sont pas encore un domaine bien exploré.

Les diagrammes seront particulièrement utilisés comme une représentation graphique d'information statistique.

Ils peuvent figurer sur des cartes (thématiques).

Les tableaux peuvent être utilisés pour sortir des ensembles choisis de coordonnées ou d'attributs, avec ou sans leurs caractéristiques de qualité.

La présentation des cartes et des tableaux peut être faite sous forme numérique ; ils peuvent alors être utilisés comme des données dans un autre SIG.

### 3 — Acquisition des données à partir des photographies aériennes

Afin d'être aussi complète que possible, l'acquisition des données doit être exécutée d'une manière systématique.

Une méthode éprouvée est la subdivision d'une photographie en plusieurs régions dont les limites sont formées par des objets topographiques (routes, voies ferrées, cours d'eau, etc.). Dans chaque région tous les objets sont saisis, classe par classe.

La saisie des données de position à partir des photographies aériennes peut être faite à l'aide de méthodes photogrammétriques. Simultanément est faite l'interprétation photographique.

La photogrammétrie traite seulement la saisie des données de position en système vectoriel, c'est-à-dire de points reliés par des lignes.

#### 3.1 - Données de position

La forme (généralisée) d'un objet est déterminée en posant le ballonnet sur les points de cet objet et en numérisant ses coordonnées - modèle.

La numérisation des objets qui apparaissent comme des lignes "discontinues" (bâtiments, certaines routes, parcelles, etc.) peut être faite facilement par numérisation des points de discontinuité bien identifiables. Par contre la numérisation d'objets qui apparaissent comme des lignes "continues" (des courbes de niveau, des fleuves, des voies ferrées, etc.) demande de choisir des points à numériser.

La position des objets est aussi déterminée par ses coordonnées.

##### 3.1.1 - Système de coordonnées

Afin d'être indépendants de l'échelle de la carte, les points doivent être stockés de préférence comme des coordonnées terrain. En fonction du but du SIG, l'unité la plus petite à distinguer peut être le cm ou le dm. Ceci implique que les coordonnées — modèle doivent être transformées en coordonnées — terrain pendant la phase de préparation.

##### 3.1.2 - Mode de numérisation

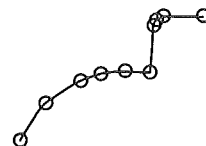
Malheureusement le terrain ne peut pas être décrit graphiquement à l'aide de lignes ou de courbes mathématiques, comme des paraboles, des arcs, etc.

Les objets contenant des points bien identifiables et significatifs peuvent être numérisés point par point. Cependant s'il n'existe pas de points significatifs, il faut quand même choisir des points à numériser.

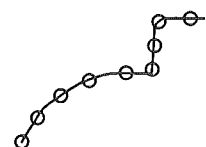
D'un côté la représentation d'un objet doit être faite à l'aide d'un nombre maximum de points afin de le représenter avec autant de réalisme que possible ; d'un autre côté, par mesure d'économie, cette représentation doit être faite à l'aide d'un nombre minimum de points. Le nombre optimal dépendra de la forme de la ligne et du niveau permis de généralisation.

La numérisation des points peut être faite de trois manières :

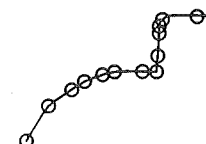
#### MODE-POINT



#### MODE-DISTANCE



#### MODE-TEMPS



- La numérisation en mode-point : l'opérateur sélectionne les points à numériser, le long de la ligne, en tâchant de respecter les critères fixés pour la précision. Cette méthode est assez subjective.
- La numérisation en mode-distance : suivi de la ligne avec le ballonnet ; les points sont automatiquement numérisés à intervalles réguliers de distance. L'intervalle de distance peut être choisi soit le long de la ligne concernée, soit le long du vecteur à partir du dernier point numérisé, soit le long d'une ou des deux composantes de ce vecteur en direction des X et des Y. Ces deux méthodes ne sont pas affectées par la vitesse avec laquelle la ligne est suivie.
- La numérisation en mode — temps : en suivant une ligne avec le ballonnet, les points sont automatiquement numérisés à intervalles réguliers de temps. La vitesse avec laquelle une ligne est parcourue dépendra de la forme de cette ligne et c'est pourquoi une corrélation existera entre la forme de la ligne et le nombre de points numérisés.

Dans les trois cas, des conditions peuvent être fixées pour supprimer des points quand, dans le cas de courbe, la longueur d'une flèche est inférieure à un seuil fixé à l'avance.

#### 3.1.3 - Caractérisation des objets graphiques

Afin de distinguer entre des objets différents, un code peut être rattaché à chaque objet. Ce code peut être numérique ou alpha-numérique.

Des objets linéaires peuvent avoir des codes qui indiquent la nature de la parcelle de part et d'autre des limites, par exemple : culture — jardin.

En utilisant la dernière méthode de caractérisation, on peut rechercher les surfaces affectées d'un certain code, en recherchant les limites ayant au moins une fois ce code.

La classification des objets doit être faite pendant la numérisation photogrammétrique ; les codes correspondants peuvent être simultanément stockés dans la base de données. Un code doit être réservé pour caractériser des objets non classifiables. Pour ces objets, une vérification sur le terrain est indispensable. Il est utile de pouvoir visualiser les représentations codées des objets, soit par un type de ligne (trait plein, pointillé, etc.), soit par la représentation séparée de toutes les lignes ayant le même code.

### 3.2 - Attributs

Les attributs décrivent les natures des objets. Pour prévenir une double interprétation d'une photographie, il est recommandé d'entrer autant d'attributs que possible pendant la phase de numérisation photogrammétrique.

On peut distinguer de trois manières différentes la saisie des attributs :

- a) l'interprétation sur les photographies aériennes ;
- b) la mesure sur les photographies aériennes à l'aide du ballonnet ;
- c) le calcul à partir des coordonnées numérisées ou de mesures.

Les exemples suivants illustrent les trois manières de saisie des attributs.

Objet ou entité : BÂTIMENT.

Attributs :

1. MATÉRIAU : peut être interprété sur la photographie et entré manuellement ;
2. HAUTEUR : peut être mesurée sur le modèle stéréoscopique en plaçant le ballonnet sur le sol puis sur le faite du toit ; après le calcul, la hauteur peut être enregistrée automatiquement ;
3. SUPERFICIE : peut être calculée à partir des coordonnées planimétriques des points numérisés du bâtiment.

Le nombre d'attributs à saisir par objet pendant la phase de numérisation photogrammétrique dépendra de :

- a) l'habileté de l'opérateur pour l'interprétation, ce qui est un travail de spécialiste ;
- b) le nombre d'attributs à saisir ; quand beaucoup d'attributs doivent être saisis par objet la numérisation sera ralentie, ce qui conduira à une réduction de l'efficacité d'utilisation du système de numérisation photogrammétrique.

### 3.3- La configuration du système photogrammétrique

L'exécution de la saisie des données à partir des photographies aériennes exige de nombreuses opérations utilisant les composantes du système photogrammétrique.

#### 3.3.1.- Les opérations

- a) Le choix et le déclenchement d'une commande.  
La commande fixera un certain nombre de paramètres :  
le type de l'objet, le code de l'objet, son symbole

(ponctuel, linéaire, superficiel), la méthode de numérisation, et ordonnera à l'opérateur de passer à l'exécution (introduction des paramètres, numérisation, introduction des attributs, mise au net).

Une commande peut être choisie et déclenchée des matières suivantes :

- Tablette du menu : la commande est choisie au moyen d'un curseur et déclenchée en appuyant sur un des boutons du curseur ;
- Menu sur la totalité ou sur le côté de l'écran. La commande est choisie au moyen de la croix du curseur, visualisée sur l'écran, ou d'un stylo lumineux, et déclenchée en appuyant sur un des boutons du curseur ou en pointant le stylo lumineux sur l'écran ;
- Clavier : la commande est choisie et déclenchée en appuyant sur le bouton concerné ;
- Clavier alpha-numérique : la commande est choisie et déclenchée en tapant le code alpha-numérique de commande ;
- Voix : la commande est introduite en prononçant le nom de la commande.

#### b) La numérisation

La numérisation inclut l'enregistrement propre des coordonnées d'un point et peut être déclenchée des manières suivantes :

- en appuyant sur un bouton du clavier ;
- en appuyant sur une pédale.

#### c) L'introduction des attributs.

Les valeurs interprétées des attributs peuvent être introduites dans la base des données, des manières suivantes :

- les claviers alpha-numériques : la valeur (c'est-à-dire : le code, le nom etc.) est introduite en tapant sur le clavier,
- la voix : la valeur est introduite en prononçant.

Les valeurs mesurées et calculées d'attributs seront introduites automatiquement après le déclenchement d'une commande ou la numérisation d'un point.

#### d) La mise au net.

La mise au net inclut la modification et la correction des objets ou de leurs attributs. Les commandes sont les moyens utilisés pour exécuter des procédures de mise au net. Un objet devant être corrigé peut être pointé soit dans le modèle stéréoscopique à l'aide du ballonnet, soit sur l'écran à l'aide de la croix du curseur, soit à l'aide du stylo lumineux.

### 3.3.2. Les composantes du système photogrammétrique

Dans cet exposé, seules seront traitées les composantes du système photogrammétrique. La saisie des données à partir de photographies aériennes peut être faite en différé ou en direct.

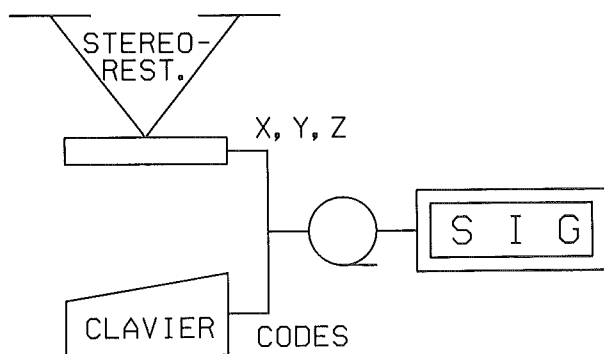
Le différé : le système photogrammétrique n'est pas lié au SIG. Les données saisies sont stockées sur un support (bande magnétique, disquette). Ce support est introduit dans le SIG ; les données sont introduites dans la base de données après le traitement préparatoire (transformation des coordonnées, "traduction" des codes, mise au format etc.).

## ...Premier Congrès International de l'AFT

L'affichage en cours de saisie et la mise au net peuvent être faites de façon plus ou moins élaborée. Trois possibilités peuvent être distinguées :

- a) un seul intermédiaire de stockage est lié au restituteur photogrammétrique. Il n'y a aucune possibilité

EN DIFFERE NUMERISATION AVEUGLE

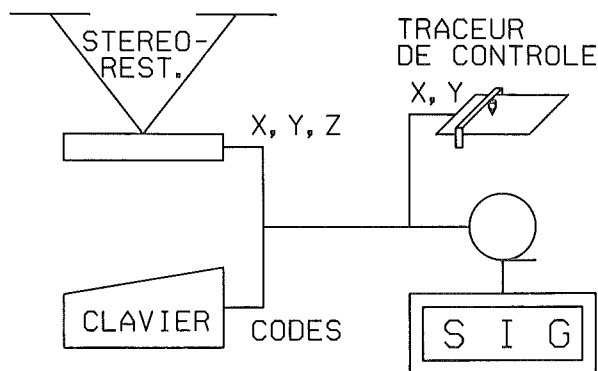


de présentation graphique ou alpha-numérique des données saisies. Cette numérisation est qualifiée "d'aveugle".

Les codes des objets, les codes des erreurs et éventuellement les valeurs des attributs doivent être introduits à l'aide d'un clavier (alpha-numérique) ;

- b) Comme précédemment, mais avec adjonction d'un accessoire permettant le tracé d'un dessin

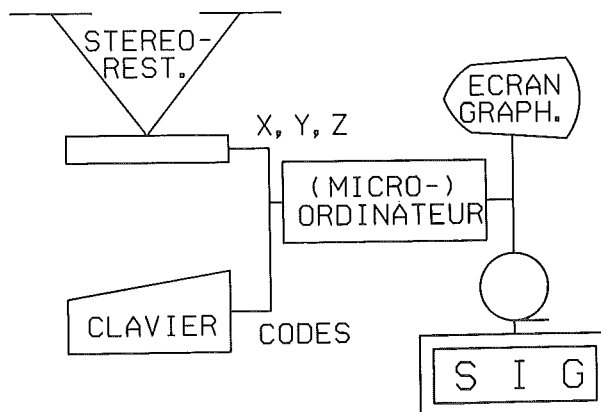
EN DIFFERE TRACEUR DE CONTROLE



de contrôle. On peut détecter des erreurs à l'aide des données présentées graphiquement et les indiquer sur le dessin de contrôle.

- b) Toujours comme le premier cas, mais avec adjonction d'un (micro-) ordinateur et d'un écran graphique sur lequel les objets et, éventuellement les codes des objets et leurs attributs, peuvent être visualisés.

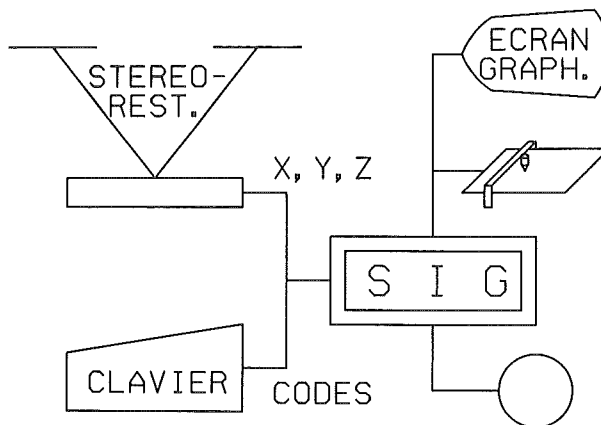
EN DIFFERE



Des commandes et des fonctions de correction en nombre plus ou moins grand peuvent être disponibles.

Le direct : le système photogrammétrique est lié au SIG. Les données saisies sont directement stockées dans la base. Des commandes seront disponibles et

EN DIRECT



la correction pourra être faite immédiatement. La présentation graphique et alpha-numérique des données saisies sera possible.

Les avantages de la configuration en direct par rapport à la configuration en différé sont les suivants :

- le contrôle est direct sur les données au moment où elles sont stockées dans la base de données ;
- la correction des erreurs est immédiate ;
- la mise au net est directe ;
- en case de mise à jour, la comparaison des données existantes et des données nouvelles et l'addition de ces données nouvelles sont possibles.

Les désavantages :

- le temps de réponse du système photogrammétrique sera influencé par le nombre d'utilisateurs du SIG ;
- si le SIG est en panne, toutes les activités seront arrêtées, y compris la saisie photogrammétrique des données ;

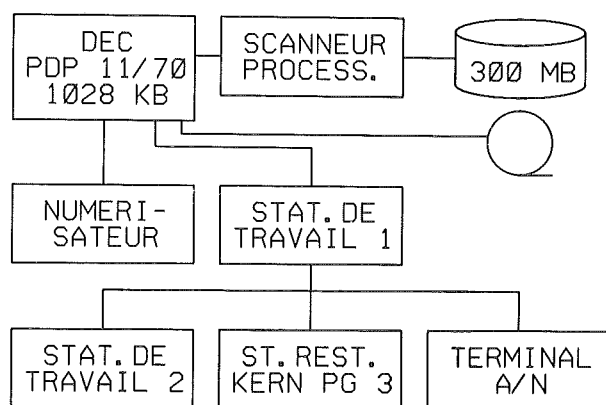
- occupation d'une station de travail dont les possibilités graphiques sont importantes, mais qui n'est utilisée qu'à un minimum de ses possibilités ;
- immobilisation du SIG lors de travaux différents sur le restituteur photogrammétrique (par exemple : travaux d'aérotriangulation).

#### 4. — Exemple d'un stéréo-restituteur lié à un système Intergraph

##### 4.1 Le système Intergraph

Le système Intergraph est un système graphique interactif qui est destiné à la conception assistée par ordinateur, allant des études industrielles à la cartographie.

##### SYSTEME INTERGRAPH (SIMPLIFIE)



À côté de ses possibilités graphiques, une base de données forme une partie intégrée de ce système ; un objet graphique peut être lié à l'apparition d'une entité (objet non-graphique) de la base de données.

##### 4.1.1. Le matériel

Le système Intergraph comme celui installé à l'ITC est composé des matériels suivants :

- une unité centrale de traitement DEC PDP 11/70 ; mémoire interne : 1028 kB ;
- une unité de disques ; capacité 300 MB ;
- une unité de bande magnétique ;
- un terminal ;
- un scanneur- processeur ; sa fonction est la régénération des données graphiques ;
- une station de travail 1 :
  - \*table de numérisation ; résolution 0,025 mm, précision 0,125 mm.
  - \*clavier alphanumérique ;
  - \*menu fixe ;
  - \*double écran graphique ; de haute résolution ;
  - \*terminal alphanumérique ;
  - \*unité de copie-papier (partagée entre les stations de travail 1 et 2) ;
- une station de travail 2 :
  - \*tablette de menu ;
  - \*clavier alphanumérique ;
  - \*double écran graphique, de haute résolution ;
  - \*terminal alphanumérique ;
  - \*unité de copie-papier (partagée entre les stations de travail 1 et 2) ;
  - \*stéréo-restituteur ;

- \*interface entre le stéréo-restituteur et la station de travail ;
- \*clavier de numérisation et de déclenchement des commandes ;
- \*pédale de numérisation ;
- une station de travail 3, qui est située à Utrecht et est liée avec le DEC PDP 11/70 de l'ITC par une ligne téléphonique ;
- une station de numérisation :
  - \*table de numérisation : résolution 0,025mm, précision 0,125 mm ;
  - \*terminal graphique VT 125 ;
- deux stations de numérisation (utilisées pour l'instruction à la numérisation) :
  - \*terminal graphique VT 125 ;
  - \*numériseur Calcomp ; résolution 0,1mm, précision 0,5 mm ;

##### 4.1.2. Le logiciel

Les deux assortiments de programmes sont :

- IGDS : Système graphique interactif de conception, qui inclue les fonctions graphiques, par exemple : placer une ligne, un cercle, une courbe etc., intersection des lignes, supprimer des éléments, coder des objets.
- DMRS : Système de direction et de régénération des données, qui commande la base des données non-graphiques, par exemple la compilation du schéma de structure de la base de données, l'entrée des données, le stockage, le traitement des données, la présentation de l'information non-graphique.

La structure de cette base de données est hiérarchique.

Des commandes de l'IGDS donnent la possibilité de lier les objets graphiques avec les apparitions des entités de la base des données non-graphiques, à établir les relations de parenté entre des objets graphiques et à manipuler les attributs en pointant les objets graphiques concernés.

Autres assortiments de programmes installés sur le système de l'ITC :

- SDI : Interface de stéréo-restituteur, qui gère les données des modèles photogrammétriques et calcule les paramètres de transformation à stocker dans l'interface entre le stéréo-restituteur et la station de travail.
- logiciel de dessin qui produit un fichier de données graphiques pour la table traçante Kongsberg.

##### 4.2 - Le stéréo-restituteur

En principe chaque stéréo-restituteur (analogique ou analytique) qui fournit les coordonnées - modèle X, Y, Z, sous forme numérique, peut être lié au système Intergraph.

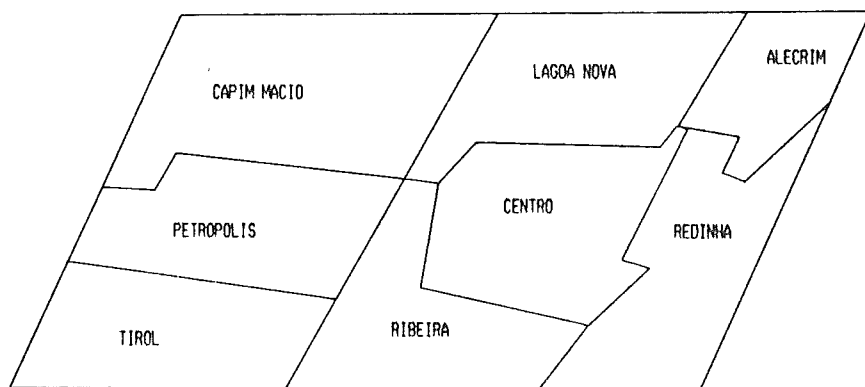
À l'ITC a été relié au système Intergraph un Kern PG-3 équipé de trois codeurs.

##### 4.3 - La liaison entre le stéréo-restituteur et le système Intergraph

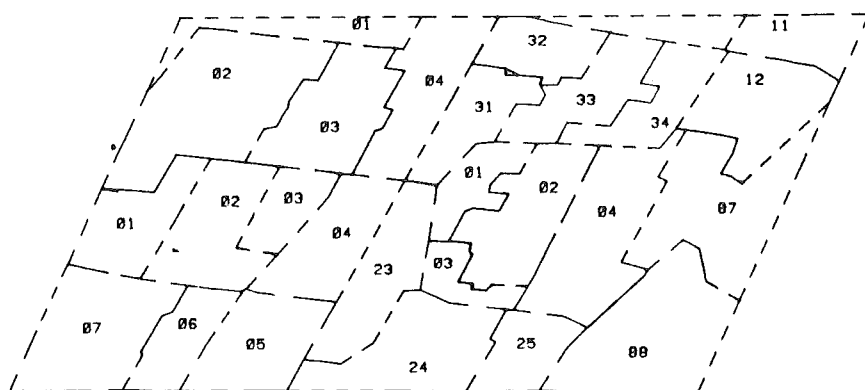
On suppose que les orientations internes et relatives ont été faites de la manière habituelle.

La liaison comprend les étapes suivantes :

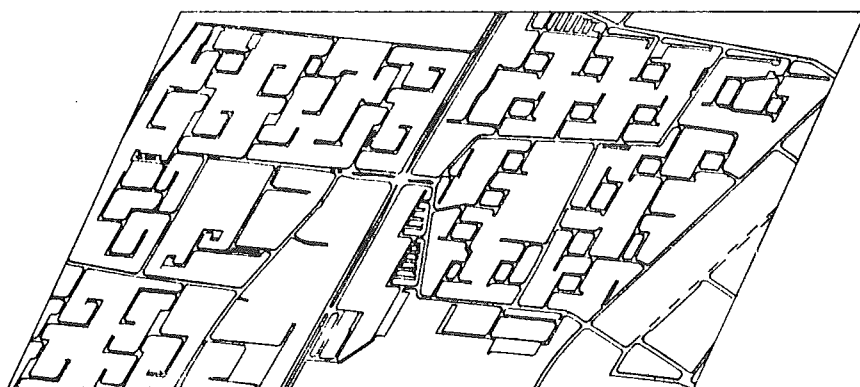
- a) chargement de la mémoire de l'interface ;
- b) si le restituteur analogique est équipé de codeurs



SECTIONS



PARCELLES



VOIES

rotatifs : fixation de l'origine des coordonnées du restituteur ;

c) numérisation des points dont les coordonnées terrestres sont connues (points d'appui) ;

d) exécution d'une orientation absolue numérique, donnant les valeurs des paramètres de transformation des coordonnées-modèle aux coordonnées terrestres ; ces paramètres seront stockés ;

e) stockage des paramètres de transformation dans l'interface.

En cas d'arrêt du système la liaison doit être rétablie, mais les étapes c et d peuvent être omises.

#### 4.4 - Le codage des objets

Le système Intergraph a les possibilités suivantes pour le codage des objets :

a) la structure des niveaux : chaque classe d'objets est placée sur un niveau propre. Il est possible de combiner n'importe quels niveaux entre eux ; ainsi les classes d'objets peuvent être visualisées et manipulées. On dispose de 63 niveaux ;

b) l'épaisseur des lignes : 6 épaisseurs sont disponibles et peuvent être visualisées sur l'écran ;

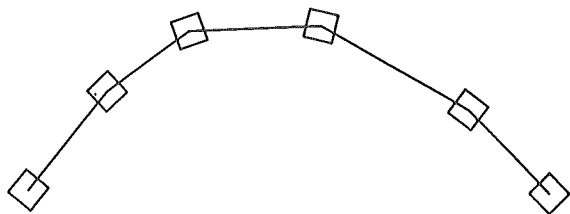
c) le groupe graphique : un groupe d'objets peut avoir le numéro d'un groupe graphique ; ces objets peuvent être tous manipulés à la fois. On peut distinguer  $2^{15}$  groupes graphiques.

Il n'est pas possible de visualiser les objets qu'en utilisant les niveaux. L'épaisseur d'une ligne donne la possibilité de distinguer entre les classes dans un même niveau.

Au dessin, les classes peuvent être représentées de façons différentes selon le niveau, l'épaisseur de

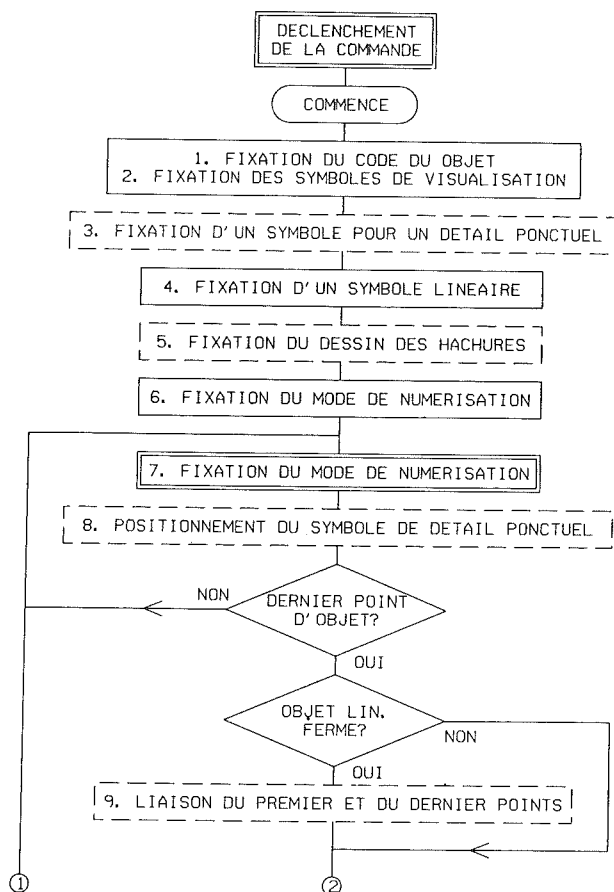
ligne et le groupe graphique auxquels ils appartiennent. Les différentes classes peuvent être représentées par des couleurs différentes (pointe à bille, feutre, plume à encre) ou par l'épaisseur de la ligne (pointe à graver, tête optique).

## LIGNE A HAUTE TENSION



### 4.5 - La saisie des données

La procédure de saisie des données doit être aussi simple que possible, car l'opérateur ne doit intervenir



que dans le choix de la commande pour la classe d'objets à numériser, dans la numérisation des points ou suivant des lignes, et dans l'introduction des valeurs des attributs.

Une procédure générale de commande sera décrite.

**1. Fixation du code de l'objet :** le numéro du niveau, l'épaisseur de la ligne et le numéro du groupe graphique sont fixés conformément à la classe des objets à numériser.

**2. Fixation des symboles de visualisation :** six symboles linéaires sont disponibles pour la visualisa-

tion sur le terminal graphique. La longueur des traits ne dépend pas de l'échelle des objets visualisés sur l'écran.

**3. Fixation d'un symbole pour un détail ponctuel :** un détail ponctuel est graphiquement représenté par un symbole. Sa dimension doit être choisie conformément à l'échelle de présentation.

**4. Fixation d'un symbole linéaire :** n'importe quel symbole peut être créé et rattaché à une ligne. Sa dimension doit être choisie conformément à l'échelle de présentation.

**5. Fixation du dessin des hachures :** n'importe quel dessin peut être créé et n'importe quel angle et distance peuvent être choisis pour hachurer une surface. Les paramètres des hachures doivent être choisis conformément à l'échelle de présentation.

**6. Fixation du mode de numérisation :** mode-point, mode-distance, mode-temps.

**7. Numérisation d'un point :** l'enregistrement des coordonnées reste à l'initiative de l'opérateur (mode-point) ou est automatique (mode-point, mode-temps).

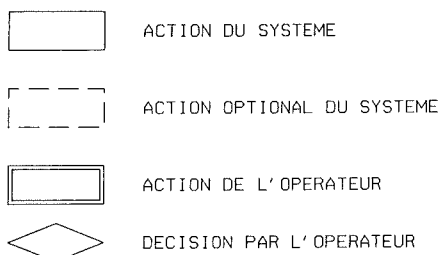
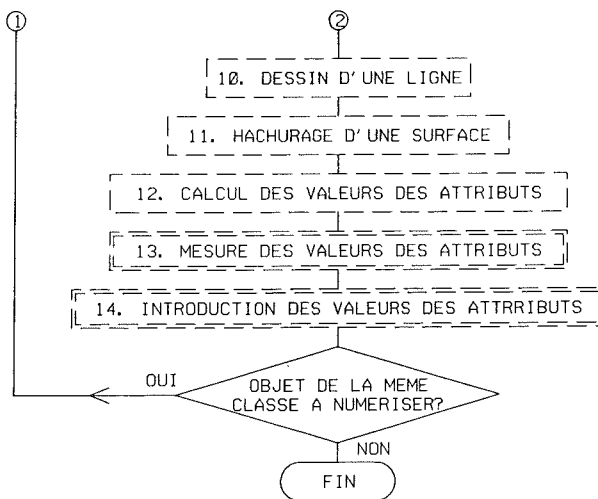
**8. Positionnement du symbole de détail ponctuel :** le symbole sera placé en cas de numérisation d'objets ponctuels.

**9. Liaison du premier et du dernier point :** pour fermer un objet représenté par une surface.

**10. Dessin d'une ligne :** un objet linéaire recevra le dessin déjà spécifié sous 4.

**11. Hachurage d'une surface :** l'objet fermé recevra des hachures (déjà spécifiées sous 5).

**12. Calcul des valeurs des attributs :** le calcul sera demandé et la valeur de l'attribut sera introduite.



## ...Premier Congrès International de l'AFT

**13. La mesure des valeurs des attributs :** le ballonnet est posé sur les points concernés après quoi ceux-ci sont numérisés. Si nécessaire le calcul sera demandé et la valeur de l'attribut sera introduite automatiquement.

**14. Introduction des valeurs des attributs :** les valeurs alphanumériques ou les codes seront tapés sur demande.

### 4.6 - La mise à jour

Le monde évolue dans le temps ; les objets et leurs attributs suivent cette évolution. La mise à jour inclue la suppression des objets disparus, l'addition des objets nouveaux, la modification éventuelle des objets, le changement des valeurs des attributs, etc.

On peut faire la mise à jour à intervalles réguliers ou à la demande si des changements importants ont eu lieu dans une certaine région. L'intervalle de temps à choisir dépendra des objets : les altitudes (MNA) ne changeront guère dans le temps, mais les agglomérations auront besoin d'une mise à jour à intervalle de 2 à 5 ans.

En fonction de la méthode de saisie des données et du nombre prévu de changements, on peut supprimer toutes les données anciennes et introduire les données nouvelles, où l'on peut détecter les changements et mettre à jour les objets et les attributs concernés. Particulièrement, la mise à jour photogrammétrique peut profiter de la superposition d'image de données vectorielles existant sur la photographie récente (par exemple, les systèmes de superposition d'image d'Intergraph et de Zeiss Videomap).

## 5 — Quelques exemples

Deux projets seront présentés illustrant les méthodes décrites. Ils s'échelonnent de la saisie entièrement photogrammétrique des données de position et de leurs attributs, à la numérisation de cartes existantes mises à jour à l'aide de la saisie des données et des attributs photogrammétriques.

Tous les projets ont été exécutés à l'aide du système Intergraph de l'ITC auquel on a rattaché un stéréo-restituteur Kern PG-3.

### 5.1 - La production d'un plan urbain à 1:500

#### 5.1.1 - Le but

Le but de ce projet était :

- 1) l'entraînement à la cartographie numérique par photogrammétrie, ayant pour résultat un plan urbain ;
- 2) la contribution à des recherches sur le terrain pour la mise au point de systèmes interactifs d'information urbaine.

#### 5.1.2 - Les objectifs

- a) La production d'un plan topographique à échelle de 1:500 conforme aux spécifications existantes.
- b) La production d'un plan numérique avec codage d'objets.

#### 5.1.3 - Les matériels disponibles

- Photographies aériennes, noir et blanc, 1:3 800 c = 214 mm.
- Points d'appui, obtenus par aérotriangulation.

### 5.1.4 - La description

Les objets de surface sont codés en plaçant leurs limites représentées par des lignes, à des niveaux différents. Dans le cas des limites doubles on donne la préférence à la limite des objets prépondérants dans l'ordre décroissant suivant :

- route ;
- remblai de voie ferrée ;
- surface d'eau (courante ou dormante) ;
- piste cyclable ou trottoir ;
- zone industrielle ;
- terrain de sports ;
- jardin ;
- terre arable ;
- forêt ;
- le reste.

Les bâtiments sont considérés comme objets superficiels placés à l'intérieur des objets mentionnés, c'est pourquoi il ne sont pas mentionnés dans la liste précédente.

Parmi les objets linéaires on distingue :

- les voies ferrées (placées au même niveau que leur remblai) ;
- les lignes (aériennes) de transport d'énergie.

Les limites sont graphiquement symbolisées conformément à leur nature ou à la qualité de la surface qu'elles délimitent.

Nature :

- haie - x -
- clôture - + -

Qualité :

- projetée -- --
- non-empierreée (voirie) --- ---
- autres -----

Les seuls objets ponctuels sont les points d'appui qui sont symbolisés à l'aide d'un triangle affecté d'un numéro.

Quelques symboles indiquant la nature de certains objets de surface.

Après l'introduction des paramètres de transformation dans l'interface, la procédure de numérisation peut être commencée.

La nature de la ligne ou la qualité de la surface est sélectionnée par déclenchement d'une commande du clavier.

Sur le bord supérieur de l'écran graphique on lit des renseignements relatifs aux catégories de points, de lignes ou de surfaces et à l'exécution de la procédure de numérisation : numérisation du point suivant, fin d'une ligne, fermeture d'un polygone, ou arrêt de la commande.

Dans le cas d'une ligne de transport d'énergie à haute tension, les positions des pylônes sont numérisées. Ces points sont liés par des lignes droites et un symbole carré est placé sur chaque point ; ce symbole est orienté selon la moyenne des orientations des directions aux points précédant et suivant.

On peut contrôler les codes d'objets en visualisant leur niveau et en vérifiant que tous les objets concernés sont présents. On peut contrôler la représentation des lignes en vérifiant les symboles de visualisation (sur l'écran).

La symbolisation des lignes est traitée par lots. Pendant la numérisation, les lignes sont étiquetées et elles sont symbolisées en traitement par lots.

La présentation de la coupure cartographique (le cadre, la quadrillage, la légende, etc.) est stockée comme un symbole et est placée à un niveau ; elle est repérée à l'aide des coordonnées du coin inférieur gauche.

Pour contrôle, on peut obtenir un copie-papier du contenu de l'écran. Afin de produire le dessin définitif, le format des données de l'Intergraph est converti au format des données de la machine automatique à dessiner et stocké sur une bande magnétique qui peut être introduite dans la table automatique.

Le dessin est fait soit sur couche à graver, soit sur film, L'épaisseur des lignes du dessin dépend du niveau du code d'épaisseur.

### 5.1.5. - Conclusion

Le résultat de cette expérience n'est pas encore prêt pour être introduit dans un SIG. L'accent a été mis sur le produit graphique conformément aux modèles de la cartographie conventionnelle. Il semble que quelques codes d'objets doivent être changés si l'on veut introduire ces données dans un SIG.

## 5.2. - Une base de données pour servir à l'administration urbaine

Ce projet concerne une étude de maîtrise réalisée par M. G.C. Olivier [7] du département des études urbaines et de l'analyse des peuplements.

### 5.2.1. - Le sujet de cette étude

Le sujet de cette étude est l'établissement d'une base appropriée de données et la méthodologie de l'installation d'un SIG dans une région. Ayant la disponibilité d'un tel outil, les autorités peuvent s'acquitter de leurs responsabilités, par rapport à la planification, à l'administration et à la direction municipale, régionale, etc.

### 5.2.2. - Les objectifs

L'établissement d'un SIG spécifiquement conçu pour une région et contenant une base de données relative au parcellaire et renfermant des données de position et d'attributs.

### 5.2.3. - Les matériels disponibles

- photographie aérienne, noir et blanc, 1 : 6.000, c = 152 mm.
- Points d'appui, obtenus par topométrie
- attributs (simulés), comme les noms des propriétaires, des occupants, les dates des actes d'acquisition et des baux de location, les adresses, le nombre d'occupants par logement, l'imposition foncière et sa date de recouvrement.

### 5.2.4. - La description du projet

On a créé deux bases de données : une base de données graphiques contenant les objets graphiques et une base de données non-graphiques, contenant les attributs de chaque entité et les relations entre ces dernières.

On a distingué les objets suivants, qui sont codés en les classant à des différents niveaux :

- les objectifs ponctuels
  - \* bornes indiquant les sommets de parcelles
  - \* objets ponctuels inclus dans une parcelle
  - \* objets ponctuels de voirie
  - \* points d'appui
- Les objets linéaires
  - \* limites de sections
  - \* limites de parcelles
  - \* limites de voirie
  - \* lignes de transport d'électricité
  - \* lignes téléphoniques
  - \* égouts
- les objets superficiels
  - \* commune
  - \* section
  - \* voies
  - \* parcelles
  - \* bâtiments

La figure 5.a. montre les entités, leurs attributs et les relations entre les entités, telles qu'elles sont stockées dans la base des données non-géographiques.

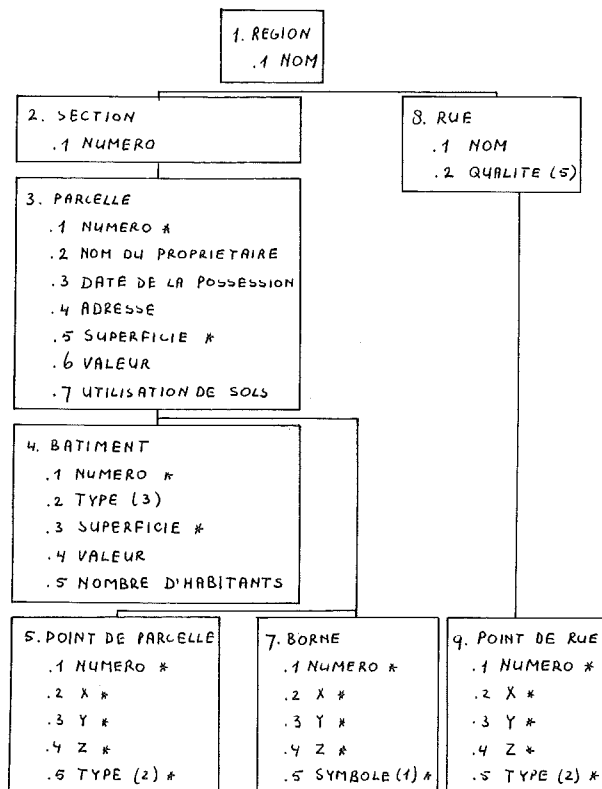


Figure : 5a.

Des commandes ont été créées pour la saisie des données de position et de leurs attributs. Les attributs, dont le numéro apparaît entre parenthèses, peuvent seulement prendre l'une des valeurs indiquées dans la liste des codes, affectée du numéro correspondant (fig. 5.b.). Les valeurs des attributs indiquées par un astérisque (\*) sont introduites pendant la phase de numérisation photogrammétrique. Les superficies et les coordonnées sont introduites automatiquement ; les numéros le sont à la suite

## ...Premier Congrès International de l'AFT

1. SYMBOLES DE BORNE  
1 = Pilier de brique
2. TYPE D'OBJET PONCTUEL  
1 = Poteau électrique  
2 = Poteau télégraphique
3. TYPE DE BÂTIMENT  
1 = Maison  
2 = Garage  
3 = Magasin  
4 = Autres
4. UTILISATION DE SOLS  
1 = Résidence  
2 = Agriculture  
3 = Industrie
5. QUALITE DE RUE  
1 = Pavé  
2 = Non Pavé

Fig. 5b : liste de codes.

d'une question ou automatiquement (en cas de numérisation consécutive) et le reste des attributs l'est à la suite de questions.

D'autres valeurs d'attributs sont introduites par question hors de la numérisation photogrammétrique. Ci-dessous suivent quelques questions auxquelles le SIG doit répondre :

- indication de la densité moyenne d'occupation par section et par commune : rédaction d'un rapport sur la densité d'occupation ;
- indication des secteurs bâtis par section et par commune : rédaction d'un rapport sur les surfaces bâties ;
- indication des mouvements de propriété : rédaction d'un rapport des propriétaires actuels et anciens des parcelles ;
- carte des réseaux indiquant la distribution d'électricité, à partir de la position des pylônes.

### 5.2.5.-Conclusions

Ce projet a montré que la photogrammétrie est une méthode efficace et de bonne précision pour la saisie des données de position, et que les valeurs des attributs peuvent être saisies simultanément. On n'a pas encore fait une analyse du rapport entre coût et bénéfices pour ce type de SIG destiné à une municipalité. Le système Intergraph (comme celui de l'ITC) ne sera pas rentable pour les municipalités de petite et moyenne étendues. C'est pourquoi il faut que d'autres études soient menées vers l'utilisation des micro-ordinateurs.

## 6.—Réflexions quant à l'avenir de la saisie photogrammétrique au service des SIG.

### 6.1.- L'interaction entre l'opérateur et le système

Le système photogrammétrique comme outil de saisie des données est un outil beaucoup plus conversationnel que le système photogrammétrique de dessin classique. Ce dernier ne réagit qu'au dépassement des limites de l'instrument.

Il faut que l'écran, sur lequel les messages apparaissent, soit situé dans une position telle que l'opérateur ait à faire un mouvement minimal de la tête, et que l'accommodation des yeux ne soit pas fatigante. La solution idéale serait la présentation des messages dans l'un des oculaires. Le panneau de commandes (tablettes de menu, écran, clavier) devrait être commodément placé. L'utilisation d'une boule comme commande des déplacements n'exige l'usage que d'une seule main, l'autre pouvant servir à choisir en "aveugle" une autre commande.

L'utilisation de la voix de l'opérateur, et même de la "voix" du système, aura un effet positif sur l'ergonomie.

La superposition d'image des données graphiques dans un des oculaires permettra la comparaison aisée des données anciennes déjà numérisées, notamment pendant les mises à jour.

### 6.2.- L'indépendance des données

La situation idéale serait que les données saisies à l'aide de n'importe quel système photogrammétrique soient introduites dans n'importe quel SIG, puis soient intégrées aux données provenant de n'importe quelle autre source.

#### 6.2.1.- L'indépendance de la structure de la base des données

En cas d'utilisation de structures de données au niveau des fichiers, ce qui signifie que les données à stocker le sont par référence directe à un autre fichier (structures hiérarchique et de réseau), les données sont stockées de façon telle qu'elles ne peuvent être utilisées que dans une entité. Par exemple, une ligne qui représente en même temps une limite de parcelles et de section doit être stockée deux fois, et même davantage si elle est utilisée pour d'autres objets (par exemple une voie).

Les bases qui établissent les relations entre les données et qui sont structurées à leur niveau, ce qui signifie que ces bases contiennent des informations par rapport aux types des données, offrent la possibilité d'utiliser un objet dans plus d'une entité. Dans l'exemple déjà donné, une ligne est stockée seulement une fois mais est utilisée dans plus d'une entité, par exemple dans : parcelle, section et voie.

#### 6.2.2.- L'indépendance du format des données

Pour l'échange des données, on doit disposer d'un format standard. Ce devrait être, pour le moins, un format à partir duquel et vers lequel les formats propres aux systèmes puissent être convertis. La normalisation au niveau international semble être un rêve. Mais au niveau national la normalisation est une nécessité pressante.

#### 6.2.3.- L'indépendance du stéréo-restituteur

En général, les codeurs ne donnent aucune difficulté quant à l'indépendance de données.

#### 6.2.4.- L'indépendance de l'échelle

Il a déjà été mentionné que la qualité de l'information graphique n'est plus limitée par l'échelle.

Il faut que les données soient saisies et stockées

dans les mêmes unités que les relevés faits sur terrain dont la résolution est le cm ou le dm ; il faut que des paramètres de qualité y soient rattachés.

### 6.3.- Le matériel

Actuellement il semble que la configuration en différé soit celle qui soit la plus efficace en terme de vitesse et de coûts. Néanmoins, l'ordinateur et ses périphériques tendent à devenir de moins en moins chers et de plus en plus puissants ; donc la configuration en direct pourrait devenir plus favorable au cours des années suivantes. L'utilisation d'un stéréorestituteur analytique comme partie d'un SIG sera le choix le plus favorable dans un avenir proche ; la raison en est son prix décroissant et les possibilités d'interaction entre le SIG et le stéréorestituteur analytique lié en direct.

### 6.4.- Le logiciel

Le système photogrammétrique total dépend du logiciel. Dans le cas du logiciel de l'Intergraph beaucoup de sous-programmes (les "pierres à bâtir" du logiciel) sont disponibles, mais ils doivent être incorporés dans les commandes afin de rendre le système "aimable" à l'utilisateur, ce qui veut dire facile à manœuvrer, sans que l'opérateur ait la connaissance de la programmation, des structures des données, etc.

Ces sous-programmes rendent le système flexible, mais il est nécessaire d'écrire de nouveaux logiciels pour chaque projet dont les exigences sont différentes. Par suite de l'élévation des coûts en personnel, le développement du logiciel devient de plus en plus cher, particulièrement lorsqu'on le compare aux matériels.

### 6.5.- L'habilité de l'opérateur

Il faut que l'opérateur ait une connaissance complète (pratique) de la photogrammétrie, avec l'accent mis sur les techniques numériques. Mais par suite du fait qu'il produira des données graphiques qui seront stockées dans un SIG sans intervention d'un cartographe, il a besoin d'une certaine connaissance des modifications, de la généralisation cartographique, etc.

D'un autre côté, la tâche du cartographe se déplacera en direction de la présentation de l'information, qui demandera davantage que la seule préparation d'une carte devant être reproduite mille fois ou plus. En effet il lui faudra définir des méthodes de présentation de l'information conformes aux exigences de

chaque utilisateur. En procédant ainsi, il contribuera à une meilleure et une large utilisation de l'information géographique auprès des instances dirigeantes et du public.

## 7.— Références

- [1] Blizt, E.C.C. : Precisie en betrouwbaarheid in de planologische geodesie (La précision et la fidélité dans la géodésie liées au planning urbain et rural) ; Geodesia-NGT, 23-1981-4.
- [2] Grelot, J.P. : L'information et le cartographe ; XYZ 1983-17.
- [3] Lugnani, J.B. : Quality estimation for digitized features - a new approach ; XV<sup>e</sup> Congrès International.
- [4] Makarov, B. : Automatic off-line generation of digital terrain models ; ITC Journal, 1980-3.
- [5] Makkonen, K. : Modelling a dynamic geodata base : problems of data accuracy and structure conversions in data collection and processing ; XV<sup>e</sup> Congrès International de Photogrammétrie et de Télédétection, Com. IV, 1984.
- [6] McLaren, R.A. et A.R. Berill : Photogrammetric data acquisition : the intelligent approach ; XV<sup>e</sup> Congrès International de Photogrammétrie et de Télédétection, Comm. II, 1984.
- [7] Olivier, G.C. : Land information systems with special reference to precision of data acquisition from air photographs ; M. Sc. thesis, ITC, Enschede, 1984.
- [8] Ruotsalainen, R. : Experiences with photogrammetric map compilation as part of a digital mapping system ; XV<sup>e</sup> Congrès International de Photogrammétrie et de Télédétection, Comm. IV, 1984.
- [9] Stefanovic, P. e.a. : Cartographie assistée par ordinateur ; Géomètre no. 5, 1982.
- [10] Teixeira, A.L. de A. : The application of an interactive graphics system for cadastral purposes ; M. Sc. thesis, ITC, Enschede, 1984.
- [11] Dorrestein, B. : New technology in photogrammetric updating of digital maps ; Intergraph seminar on digital mapping, Barcelona, 1984.
- [12] Jerie, H.G. : Some notes on "Geo Information Systems", manuscript, ITC, 1984.

# L'efficacité **SERNAM**



**SERNAM**   
service national des messageries de la **SNCF**

De la messagerie à l'express  
une gamme complète de services à délais garantis

# Les applications de Navstar à la topographie

*Par Georges NARD,  
Directeur Technique à la Société d'Études,  
Recherches et Constructions Électroniques (SERCEL)*

## RÉSUMÉ

Les satellites de navigation de la Marine des États-Unis ont ouvert la voie, en 1967, aux premières applications civiles de topographie et de géodésie spatiales. Ce système, le TRANSIT, bien que basé essentiellement sur des mesures de fréquence doppler opérées sur des porteuses de fréquences relativement basses et malgré certaines difficultés provenant de l'emploi d'orbites de basse altitude, a permis des opérations de topographie de précision métrique sur des bases de plusieurs centaines de kilomètres.

L'avènement opérationnel, à la fin de cette décennie, du nouveau système de satellites développé par l'armée de l'air des États-Unis ouvre de nouveaux espoirs pour les opérations de topographie et de géodésie dans le sens de l'amélioration de la précision et surtout de la réduction de la durée et du coût de ces opérations. Les premiers satellites prototypes de ce nouveau système appelé : "GLOBAL POSITIONING SYSTEM NAVSTAR" ont déjà permis l'expérimentation de plusieurs méthodes qui se sont avérées prometteuses.

Ce papier rappelle les principales caractéristiques du système NAVSTAR, décrit rapidement les méthodes expérimentées et les matériels mis en œuvre aux États-Unis. Enfin il décrit une première réalisation française d'un matériel dont les caractéristiques permettent une première approche de la solution des problèmes de topographie en utilisant avec une grande acuité un maximum d'informations doppler différentielles provenant simultanément de plusieurs satellites.

## 1— Première application des satellites artificiels à la topographie : le TRANSIT.

Le système de satellites artificiels de navigation TRANSIT, développé par la Marine Militaire des États-Unis au début des années 60 à des fins militaires, a pu être utilisé progressivement pour des applications civiles à partir de 1967. Peu à peu, les appareils récepteurs s'améliorant et les méthodes de détermination des données orbitales précises progressant également, des applications de topographie terrestre de base moyenne à longue ont pu être envisagées, ouvrant la voie à l'ère des applications de la topographie et de la géodésie spatiales.

Le système TRANSIT est basé sur l'entretien de la présence aussi permanente que possible de 4 à 6 satellites placés sur des orbites circulaires polaires de 1 100 kilomètres d'altitude et de période inférieure à 2 heures. La détermination de la position d'un point au sol peut être obtenue en accumulant et en traitant dans les récepteurs les résultats de mesures successives de variation de la distance séparant un satellite et le point d'observation, sur une période de temps de 15 minutes environ, les données de position instantanée du satellite sur son orbite référencées à la terre étant supposées connues.

A cette fin, chaque satellite transmet des signaux radioélectriques sur deux fréquences voisines de 400 et 150 Mhz. Ces fréquences porteuses dont l'origine est aussi bien stabilisée qu'il est possible dans les satellites, sont pour les récepteurs placés au sol la base des mesures de variations de phase en fonction du temps (effet Doppler) permettant de déterminer sur un intervalle de temps court les variations de la distance satellite-point d'observation.

Pour calculer la solution de sa position, l'observateur a besoin de connaître les éphémérides caractérisant l'orbite du satellite et une indication de temps aussi précise que possible. Ces deux informations sont transmises par les satellites eux-mêmes grâce à une modulation des deux porteuses par un message numérique mémorisé dans chaque satellite. Ces informations sont chargées deux fois par jour dans les mémoires des satellites par une liaison terre vers satellite qui transmet les données de temps, reliées au temps universel, et les éphémérides prédites qui ont été calculées préalablement à l'aide des données de 4 stations terriennes d'observation, dites "stations opérationnelles".

Dans les récepteurs, les mesures de phase des signaux reçus d'un satellite sont effectuées relativement à une source de fréquence stable pilotée par quartz. Les mesures doppler sont opérées sur des tranches de temps de l'ordre de 5 secondes et donc un récepteur dispose d'environ 150 mesures au cours du passage observable d'un satellite. Les mesures faites sur les deux fréquences permettent de connaître avec une bonne précision le retard de propagation provoqué par la traversée de l'ionosphère et de compenser presque totalement son effet sans imposer la nécessité de mesurer les paramètres physiques qui le déterminent, ce qui serait pratiquement complexe et imprécis. Une solution de position à 3 dimensions est

## ...Premier Congrès International de l'AFT

ajustée par la méthode des moindres carrés à l'ensemble des mesures doppler d'un passage. Chaque mesure doppler est associée à la position du satellite, laquelle est calculée à l'aide des éphémérides et des données précises de temps radiodiffusées par le satellite.

Une telle utilisation immédiate des signaux des satellites TRANSIT caractérise la plupart des applications de navigation.

Les indications de position sont généralement établies en longitude, latitude et élévation, basées sur une ellipsoïde géocentrique.

La précision ainsi obtenue est de l'ordre de 50 mètres si le point d'observation est fixe, et peut atteindre 100 à 300 mètres si le récepteur est installé sur une plateforme mouvante dont l'attitude et les lois de mouvements sont mal connues.

Mais la topographie terrestre peut, le plus souvent, satisfaire à la souhaitable immobilité du point d'observation. Dans ce cas, il est possible de mémoriser dans les récepteurs les données individuelles des mesures d'un passage, puis d'un autre passage, puis de plusieurs. Après plusieurs passages, la précision absolue de la solution de position s'améliore et peut tendre vers une valeur de 5 mètres environ, ceci après 30 passages, soit environ 3 jours d'observation.

On s'aperçoit alors que la limite de précision atteinte provient des écarts de position des satellites qui évoluent avec des caractéristiques orbitales réelles différentes de celles calculées à l'aide des éphémérides radiodiffusées. En effet, "l'âge" de ces éphémérides peut atteindre 12 heures aux instants d'observation : elles correspondent essentiellement aux accélérations ou ralentissements incontrôlés et non mesurés des satellites sur leurs orbites pendant plusieurs révolutions.

En vue d'améliorer les précisions possibles, un réseau beaucoup plus complet d'orbitographie a été mis en place : le TRANET qui comprend 20 stations d'observation dont les données sont centralisées et traitées pour pouvoir établir des éphémérides précises basées sur des observations en temps quasi réel. Les résultats sont ensuite rendus disponibles aux usagers qui peuvent procéder à des post calculs à l'aide des données relevées et mémorisées sur le terrain. Dans ce cas, la précision absolue peut atteindre 2 mètres en X, Y et Z toujours pour 3 jours d'observations.

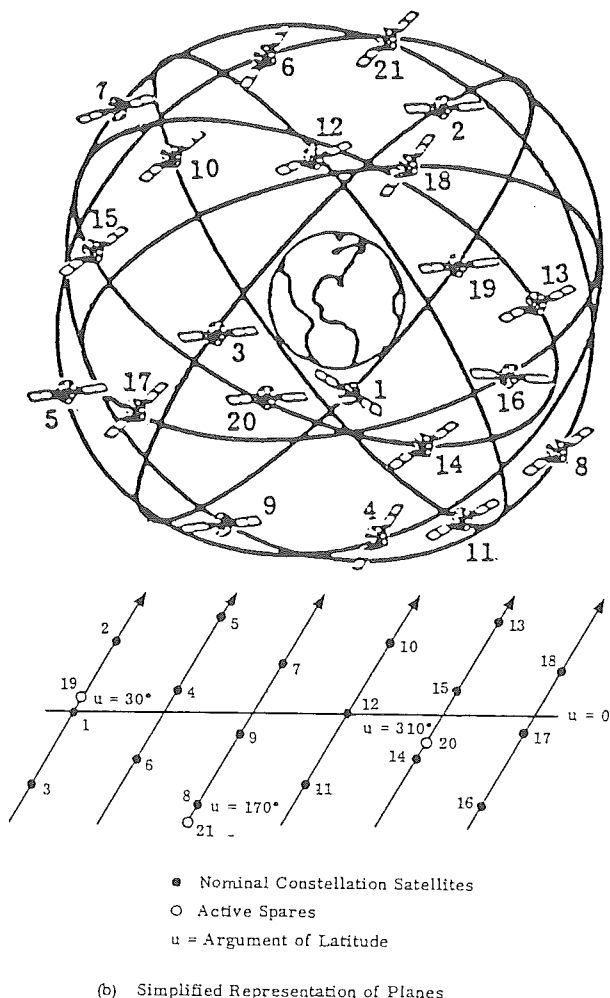
Mais le plus souvent, le problème posé aux topographes est de relier un point de coordonnées réputées connues à un ou plusieurs autres points dont il faut déterminer la position. Il est alors possible de procéder à des observations différentielles des passages des mêmes satellites aux mêmes instants en effectuant des relevés à l'aide de deux récepteurs installés, l'un au point connu, l'autre au point à déterminer. Cette technique, appelée aussi "translocation", permet d'atténuer encore certaines erreurs résiduelles liées aux connaissances orbitales et à la propagation. Des précisions relatives de l'ordre de 50 centimètres ont été obtenues à 300 kilomètres et meilleure que 1 mètre à 1 000 kilomètres, toujours pour des temps d'observation de l'ordre de 3 jours. Ces ordres de grandeur sont comparables à ceux obtenus à l'aide de cheminements terrestres par les méthodes classiques.

Aujourd'hui le système TRANSIT est opérationnel et assez bien entretenu ; cependant l'administration des Etats-Unis n'envisage pas actuellement de l'entretenir au-delà de 1994.

Plusieurs modèles de récepteurs particulièrement développés pour la topographie sont aujourd'hui en service courant ; ils sont essentiellement d'origine américaine.

## 2— Le système de navigation par satellites G.P.S. Navstar ou "Global Positioning System".

Ce nouveau système de satellites constitue pour les Etats-Unis l'étape suivante de l'avènement des moyens de navigation et de localisation à base spatiale. Il est en développement sous le contrôle de l'armée de l'air de ce pays depuis 1972 et vise à la mise en place, aux environs de 1988, de 18 satellites répartis par groupes de 3 sur 6 plans orbitaux inclinés à  $55^\circ$  par rapport à l'équateur (voir figure 1). Les orbites circulaires à une altitude de 20 200 kilomètres déterminent une période de 12 heures.

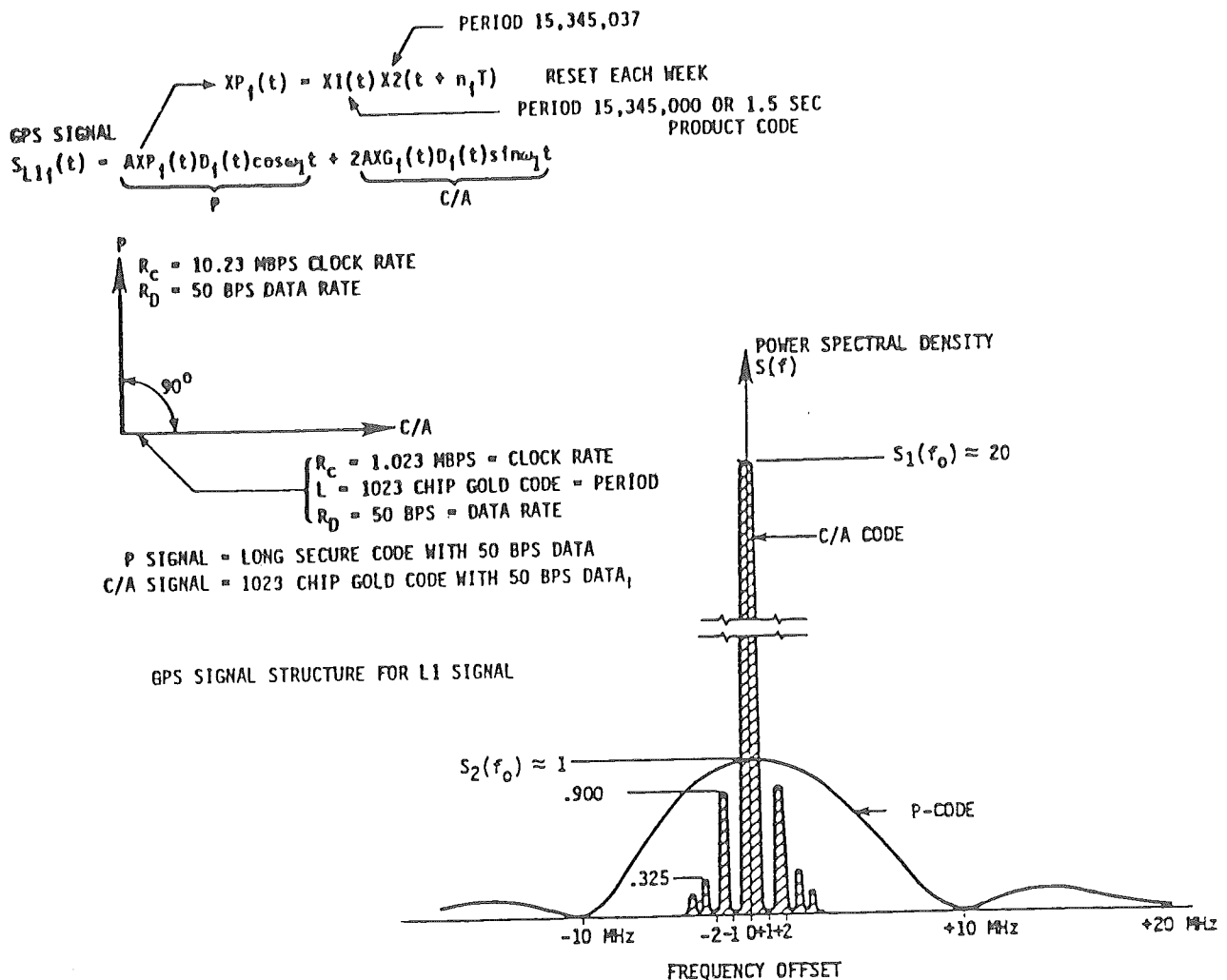


— Figure 1 : Constellation des satellites GPS NAVSTAR sur 6 plans orbitaux.

De plus, 3 satellites de rechange actifs portent la constellation à 21 satellites. Cette configuration offre à l'utilisateur la possibilité d'observer à tout moment au

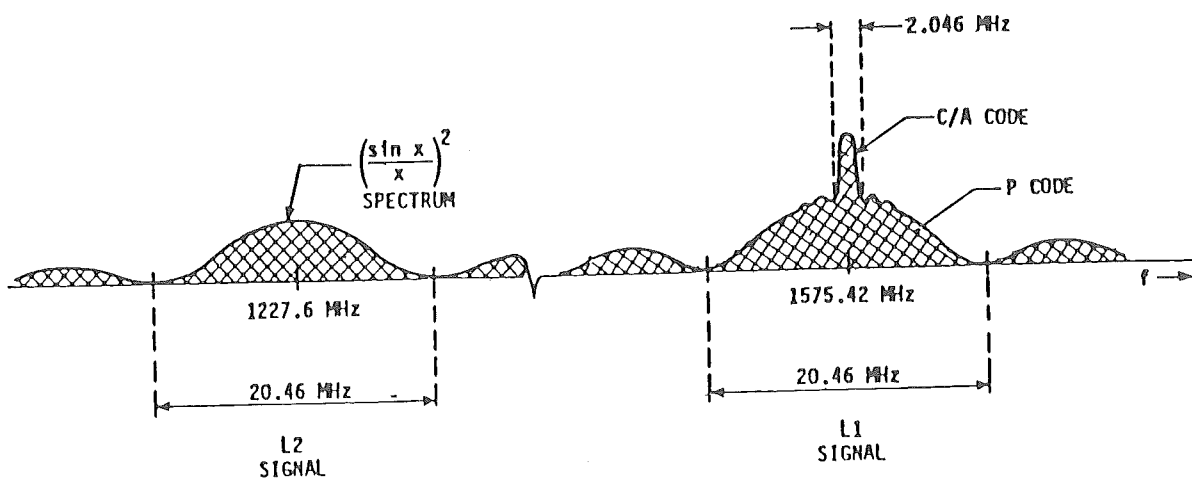
moins 4 satellites simultanément. La durée des passages observables utilement est bien supérieure à celle du TRANSIT : elle peut dépasser 5 heures pour un satellite ayant son élévation maximum proche du Zénith du point d'observation.

Chaque satellite émet sur deux fréquences porteuses voisines l'une de 1 575 Mhz, dite L1, l'autre de 1 227 Mhz, dite L2. (Voir figure 2). Ces porteuses sont modulées en phase par des séquences pseudo-aléatoires de deux types. (Voir figure 3). La première



SPECTRA OF CARRIERS WITH BIT RATES OF 1 MEGABIT/SEC AND 10 MEGABITS/SEC. THE RATIO OF C/A POWER TO P-CODE SIGNAL POWER IS 3 dB IN THIS FIGURE.

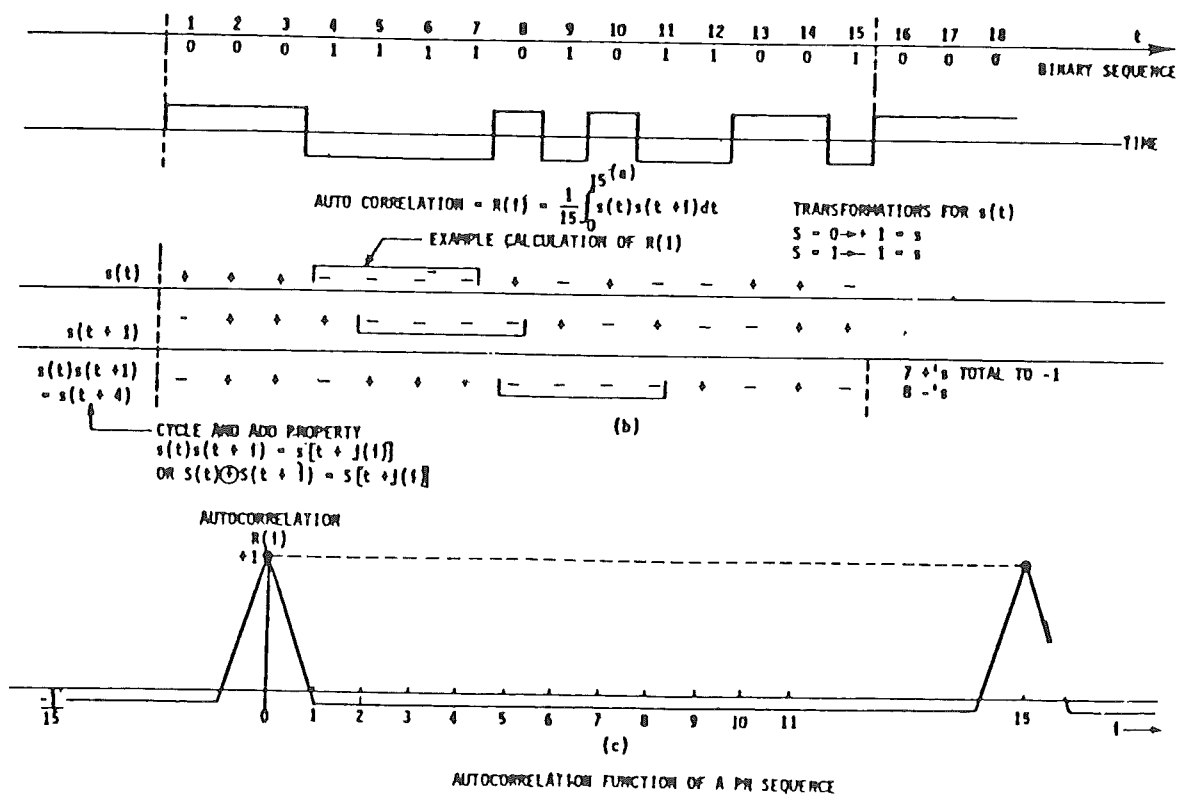
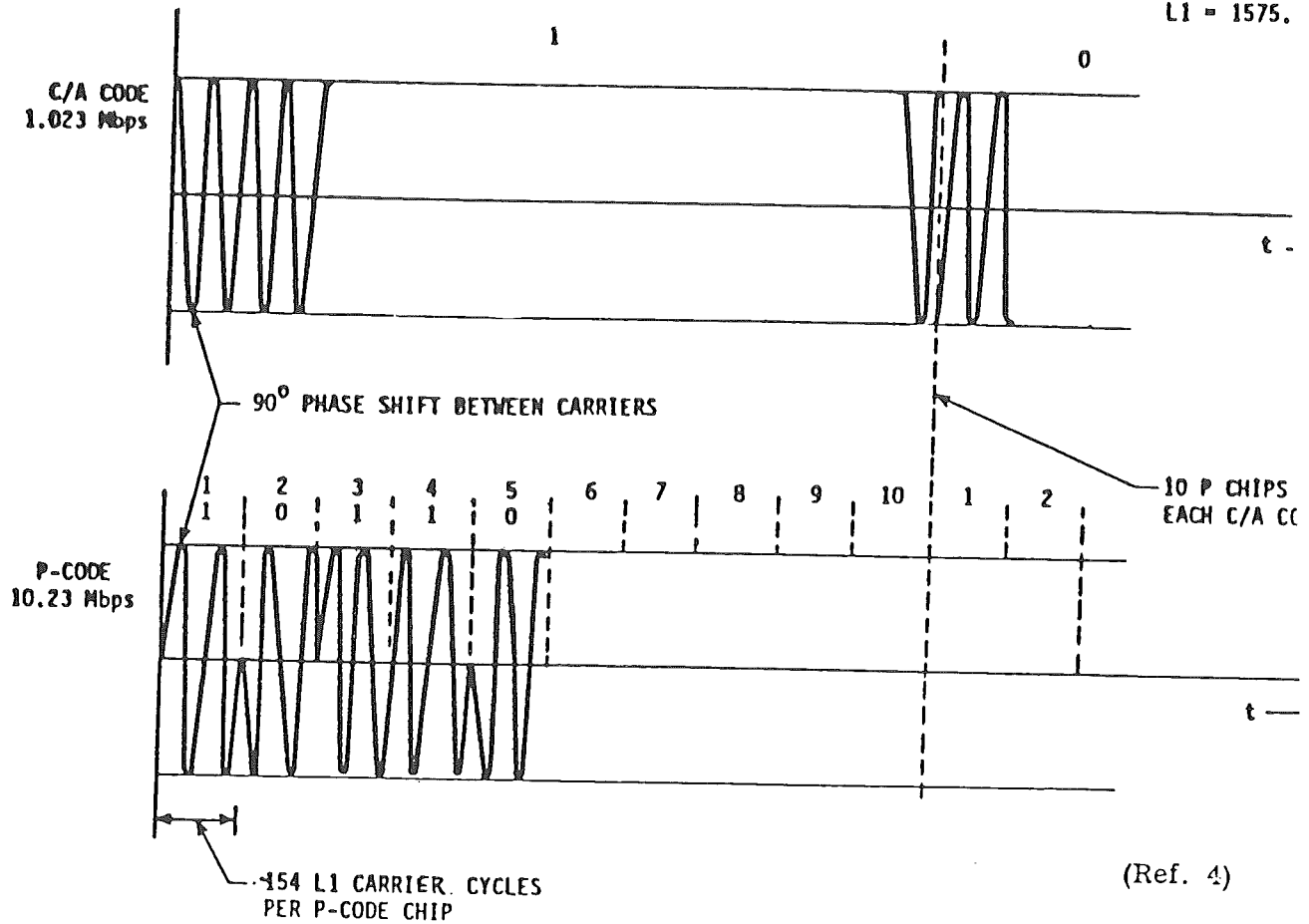
(Ref. 4)



— Figure 2 : Caractéristiques de modulation des satellites GPS.

# GPS SIGNAL WAVEFORM - L1 CHANNEL

L1 = 1575.



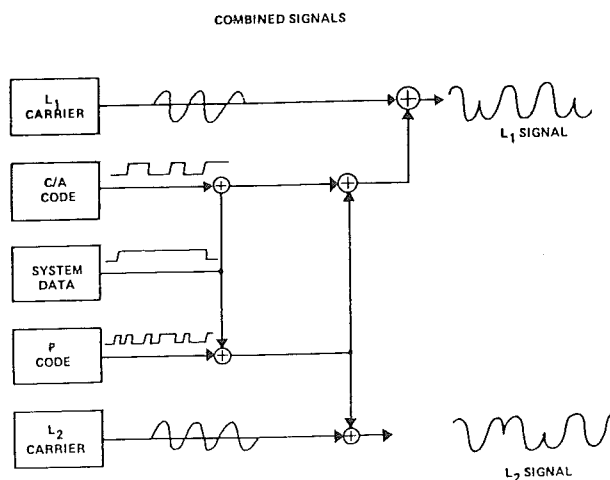
— Figure 3 : Caractéristiques des codes P et C/A.

présente une fréquence de bits de 10,23 Mhz qui module de façon synchrone les deux fréquences porteuses constituant ainsi un repère temporel précis appelé "code P". La période de répétition naturelle de ce code est de plusieurs mois, mais il est volontairement remis à un état particulier précis chaque semaine.

Chaque satellite peut transmettre un code "P" particulier pouvant être choisi depuis le sol parmi un très grand nombre de combinaisons. Toutes les propriétés de ce signal P ne peuvent donc être acquises que par les seuls utilisateurs disposant de la combinaison définissant chaque code P.

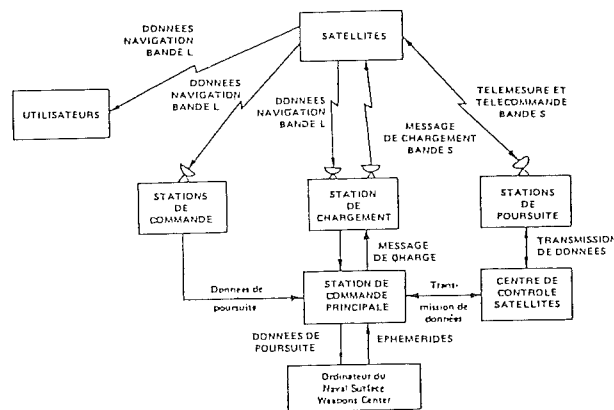
La deuxième séquence présente une fréquence de bits 10 fois plus faible : 1,023 Mhz et une période de répétition beaucoup plus courte de 1 milliseconde environ et appelée code "C/A". Elle module en phase la seule fréquence L1 selon une référence en quadrature de phase avec celle intéressant la modulation par le code P. Cette deuxième séquence constitue un deuxième repère temporel, très répétitif, lui aussi "remis à l'heure" de façon précise au début de chaque semaine. Chaque satellite transmet un code C/A particulier et immuable. Sa définition est simple et connue de tous, et son usage et ses propriétés sont donc en principe librement accessibles. L'état d'un compteur des périodes écoulées du code C/A est transmis aux utilisateurs par les satellites, ce qui permet de relier aisément mais grossièrement ces deux repères de temps entre eux.

Les fréquences porteuses et celles initialisant les signaux codés sont cohérentes et issues de la même source de fréquence très stable pilotée par un groupe de résonateurs au césium embarqué sur chaque satellite (voir figure 4).



— Figure 4 : Organisation des émissions à bord d'un satellite.

De façon analogue au TRANSIT, les références orbitales précises de chaque satellite sont établies par 4 stations au sol et chargées au moins 1 fois par orbite dans la mémoire des satellites (Voir Fig. 5). Ces données sont aussi radiodiffusées par les satellites vers les utilisateurs. De plus, l'état et la marche des horloges de bord sont établies par les stations au sol, comparées au temps universel, et les éléments utiles à l'établissement très précis du temps sont également mis en mémoire dans les satellites.



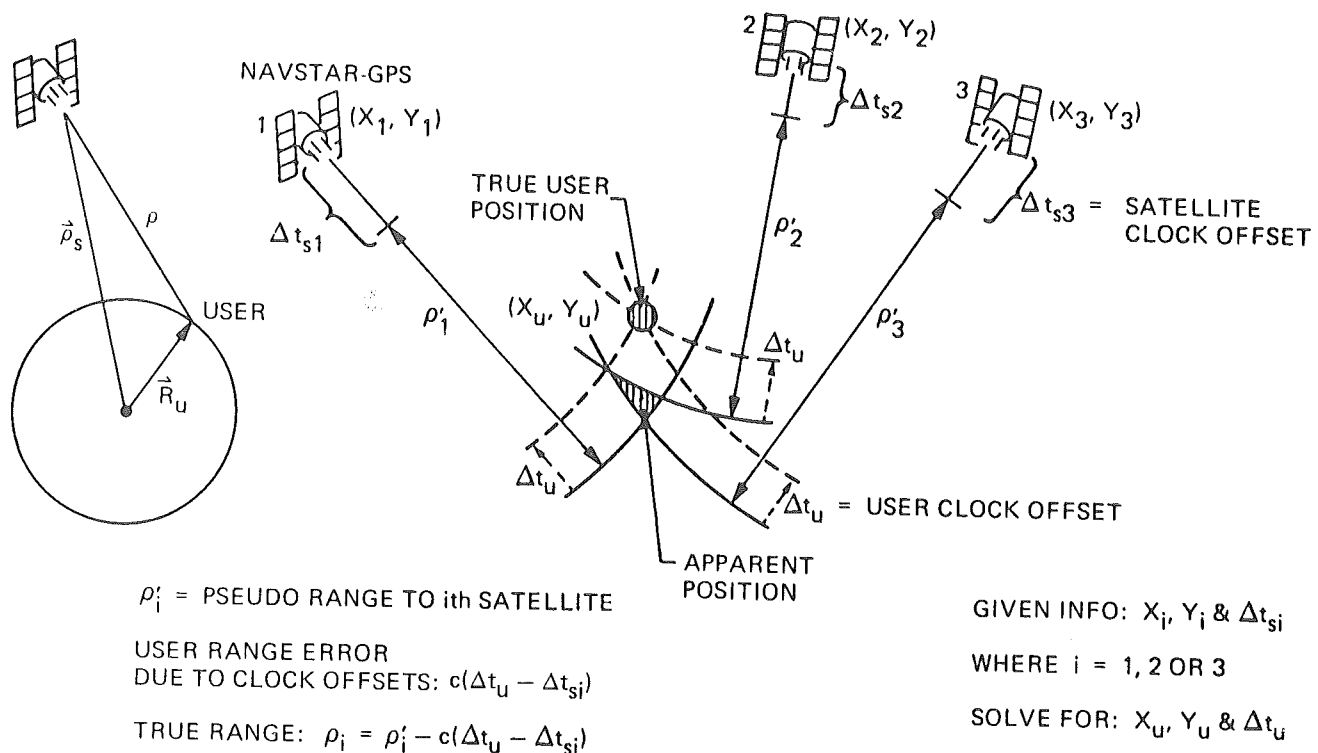
— Figure 5 : Organisation des stations de surveillance et de chargement des satellites.

L'ensemble des phases des porteuses et tous les repères temporels transmis par tous les satellites sont par conséquent reliés de façon très précise à une référence unique de temps, elle-même reliée au temps universel.

Le concept général d'emploi des satellites NAVSTAR pour la navigation consiste à établir dans les récepteurs une solution de position à 3 dimensions en mesurant simultanément les distances instantanément observées entre le récepteur et un minimum de 3 satellites. Ce principe de base supposerait que l'utilisateur puisse disposer par ailleurs d'une référence de temps reliée très précisément aussi au temps universel, et à l'aide de laquelle il lui serait possible d'établir le temps précis du parcours des signaux et donc les distances le séparant de chaque satellite. En réalité, ce cas n'existe pratiquement jamais et en fait le récepteur de l'utilisateur est équipé d'une source de temps — fréquence de bonne qualité mais classique et indépendante. Aux estimations à 3 dimensions que le récepteur doit faire, s'ajoute donc une 4<sup>e</sup> qui concerne l'écart entre la référence de temps locale du récepteur et celle de l'ensemble du système NAVSTAR. Ceci n'est possible que si une quatrième donnée indépendante est entrée dans l'estimateur sous la forme des mesures provenant d'au moins un quatrième satellite.

Dans la réalité, les récepteurs mesurent donc des "pseudo-distances" comportant chacune la distance que l'on désire mesurer depuis chaque satellite, plus une grandeur commune à toutes les mesures qui correspond à l'écart entre la référence de temps du récepteur et celle du système de satellites. (Voir Fig. 6).

Les pseudo-distances peuvent être établies à partir de l'observation du repère temporel du code C/A seul : dans ce cas, la mesure n'est issue que de la seule fréquence L1. Contrairement à une idée assez répandue, la précision qu'il offre n'est pas très différente de celle que permettent les codes P. Mais, par contre, le code C/A n'étant transmis que sur la seule fréquence L1, les mesures issues de ce repère temporel ne pourront être corrigées des effets de la traversée de l'ionosphère que grâce à un calcul utilisant un modèle de propagation. Cette méthode ne peut apporter qu'une correction imparfaite.



— Figure 6 : Le principe des mesures de pseudo-distances

On peut éventuellement aider aussi les mesures par les observations doppler qui permettent de réduire le bruit des mesures. Ces moyens qui sont en principe accessibles à tous se sont avérés très précis puisque les premières mesures faites à l'aide de satellites expérimentaux, sur des temps d'observation de l'ordre de quelques secondes, indiquent des erreurs de position absolue de l'ordre de 15 à 30 mètres seulement.

Les pseudo-distances peuvent aussi, pour les usagers connaissant la clé d'accès au code P, être établies à l'aide des marques de temps de ce code observées sur les deux fréquences L1 et L2. Elles peuvent aussi être aidées par des mesures doppler opérées sur ces deux fréquences.

Dans ce cas d'utilisation, en principe réservé uniquement aux militaires des Etats-Unis, les récepteurs disposent d'un moyen de mesure présentant un pouvoir plus aigu de discrimination temporelle assurant une meilleure réjection des effets des trajets multiples, ce qui est un aspect assez important pour la qualité du positionnement instantané. Ils disposent également des éléments utiles à une correction très précise des erreurs de propagation transionosphérique et enfin, ce qui est intéressant du point de vue militaire, ils disposent d'une capacité d'antibrouillage considérablement accrue.

Les premières expérimentations de positionnement instantané, au niveau de quelques secondes d'observation, montrent des précisions de l'ordre de 10 à 15 mètres. Ce niveau moyen de précision n'est

pas considérablement meilleur que celui apporté par les observations faites avec le code C/A ; cependant, il est vraisemblablement plus fiable lors de perturbations ionosphériques importantes associées à une forte activité solaire.

La bonne qualité des résultats obtenus à l'aide du seul code C/A incite les Etats-Unis à envisager, pour des raisons de sécurité militaire, une dégradation volontaire des données de base utiles à la solution instantanée de position. Cette dégradation toucherait probablement les données orbitales et les repères temporels eux-mêmes.

Le positionnement instantané, essentiel pour la navigation précise, verrait sa précision limitée aux environs de 50 à 70 mètres en moyenne. Ce niveau de précision, acceptable pour de nombreuses applications de navigation, interdit cependant les missions civiles les plus précises qui requièrent des précisions de l'ordre de la dizaine de mètres. Pour les assurer, bien qu'en utilisant les seuls éléments C/A et doppler de la fréquence L1, même dégradés, la mise en œuvre de techniques différentielles rapides en temps réel est envisagée. Ces techniques devraient permettre de compenser dans une large mesure les effets de ces dégradations volontaires, ainsi que celles des erreurs orbitales et ionosphériques résiduelles. Elles peuvent donc être efficaces jusqu'à des distances de plusieurs centaines de kilomètres. Elles ne devraient pas compromettre l'aspect stratégique militaire que les Etats-Unis cherchent à sauvegarder, compte tenu de leur vulnérabilité évidente.

### 3— Les applications de Navstar à la topographie et la géodésie.

Les critères relatifs à la précision intéressant le positionnement instantané précis appliqué à la navigation sont très sensiblement différents de ceux s'appliquant à la précision des méthodes utiles à la topographie.

En effet, alors que le navigateur a besoin d'informations de position fiables, de précision métrique à décimétrique, et à une cadence élevée de l'ordre de une à quelques secondes, la topographie a des exigences et des tolérances notablement différentes.

Les méthodes topographiques vont consister à utiliser l'information d'une autre façon : il est possible de préparer le travail, de sélectionner les instants d'observation pour obtenir la meilleure géométrie des satellites, d'intégrer les résultats d'observation sur des temps longs, de mettre en œuvre systématiquement les techniques différentielles, de profiter de l'absence de mouvement du récepteur pour mettre en œuvre des techniques de traitement du signal inapplicables dans les récepteurs en mouvement, etc. Ces raisons rendent inappropriées ou abusives toute extrapolation hâtive à la topographie de comparaison de méthodes et de résultats concernant la précision du positionnement instantané et la navigation.

Par exemple, et bien que ceci paraisse très surprenant a priori, il est aujourd'hui assez clairement évident que la connaissance des moyens d'accès au code P ne s'avère pas indispensable à l'atteinte de bonnes précisions utiles à la topographie.

De même, bien que la présence d'une dégradation volontaire des éléments associés à l'usage du code C/A puisse conduire à une certaine complication des méthodes de traitement, il n'apparaît pas qu'elle puisse entacher gravement la précision ultime des applications topographiques.

Il est donc intéressant avant tout de s'intéresser aux méthodes et traitements de l'information les plus propices à la précision topographique. Il convient aussi de distinguer pour chaque méthode ce qui s'applique au positionnement absolu isolé, qui intéresse le plus souvent la géodésie, par opposition à la détermination des éléments d'une base rattachée à un point supposé connu. On doit également considérer, dans chaque cas, l'influence que peut avoir une connaissance des données orbitales plus précises que celles radiodiffusées par les satellites.

Il est utile aussi de remarquer les avantages et inconvénients des orbites hautes de NAVSTAR par rapport aux orbites basses du TRANSIT. Les satellites de NAVSTAR sont beaucoup moins assujettis aux effets de traînée et aux perturbations orbitales de toute nature. D'une part les données orbitales sont injectées à chaque orbite, mais de plus les erreurs orbitales résiduelles peuvent être réduites si un mode d'observation différentiel peut être mis en œuvre. Cette réduction est sensiblement proportionnelle au rapport reliant la longueur de la base séparant les deux points d'observation à la hauteur des satellites. NAVSTAR est, de ce point de vue, 20 fois moins sensible aux erreurs que le TRANSIT.

Les retards ionosphériques sont inversement proportionnels au carré de la fréquence, ce qui est évi-

demment favorable aux fréquences hautes de NAVSTAR. Mais de plus, les conditions géométriques associées aux altitudes très élevées entraînent une corrélation spatiale des erreurs ionosphériques très prononcée et propice à leur atténuation par les méthodes différentielles.

En revanche, si la sensibilité géométrique associée au compte doppler est améliorée 4 fois par le rapport des fréquences, elle est aussi réduite dans la même proportion du fait du rapport des vitesses projetées vers l'observateur. Il y a donc sur ce dernier point peu d'amélioration à attendre par rapport au TRANSIT.

Toutes ces considérations montrent la nécessité de caractériser les différentes méthodes possibles d'emploi de NAVSTAR en vue de l'optimisation des précisions en topographie.

#### 3.1— Positionnement absolu, méthode pseudo-distance, méthode doppler.

Il vient naturellement à l'esprit d'utiliser des récepteurs développés pour la navigation et de tenter de les utiliser en topographie. Le positionnement absolu pourra alors être obtenu en déterminant, comme en navigation, une solution de position à 3 dimensions à partir des données de pseudo-distance des codes C/A et éventuellement P provenant de plusieurs satellites et d'intégrer les résultats sur un temps permettant d'atténuer les bruits introduits par les erreurs aléatoires. Une extrapolation des premières expériences faites avec une constellation réduite de quelques satellites montre qu'en situation définitive une précision de l'ordre de 5 mètres serait obtenue et qui pourrait être ramenée aux environs de 1 mètre dans l'hypothèse où des éphémérides réelles précises seraient disponibles, et ceci, seulement après quelques heures d'observation.

La capacité d'emploi du code P, en tant que repère temporel, n'apparaît pas comme un avantage déterminant par rapport à celle du seul code C/A. L'intérêt principal du code P pour ce type de récepteur serait de pouvoir donner accès aux mesures sur la deuxième fréquence L2, s'il était librement disponible, et dans ce cas de pouvoir offrir une méthode efficace de correction ionosphérique. Il semble que la communauté civile devra abandonner l'espoir de pouvoir y parvenir avant une date assez avancée. Ceci complique le problème mais sans être rédhibitoire, d'autres méthodes d'accès à la 2<sup>e</sup> fréquence étant possibles.

La méthode de détermination absolue de la position par l'accumulation de comptes doppler, comparable à celle mise en œuvre avec le TRANSIT, s'apparente beaucoup à celle des pseudo-distances et peut souffrir des mêmes limitations d'accès à la deuxième fréquence dans des conditions normales si le code P n'est pas disponible.

En résumé, en ce qui concerne le positionnement absolu, on peut considérer qu'une bonne précision pourra être obtenue sans contrainte de disponibilité du code P de deux façons :

1) Soit en utilisant les données de pseudo-distance du repère C/A et les données doppler associées à la seule fréquence L1. Il faudra, dans ce cas, disposer

## ...Premier Congrès International de l'AFT

de préférence des données orbitales vraies et d'éléments de corrections mesurés pouvant s'adapter à un bon modèle d'erreur ionosphérique. Les résultats seraient uniquement disponibles en post-calcul et la précision restera limitée à un à quelques mètres en dépendance principale des résidus de correction ionosphérique.

2) On peut envisager l'emploi de procédés de détection non linéaire des repères temporels du code P, qui seront décrits un peu plus loin dans les méthodes dites "interférométriques". Associés aux mesures doppler et C/A effectuées sur la fréquence L1, ils devraient permettre d'accéder à de bonnes mesures et également d'obtenir une correction ionosphérique de qualité.

Ces procédés conduisent à une perte de sensibilité notable de la capacité d'exploitation des signaux de NAVSTAR qui doit être compensée par un allongement des temps d'observation. Un tel allongement est de toute façon souhaitable pour atténuer les effets des dégradations volontaires des données orbitales et du repère temporel C/A.

Pour atteindre des précisions métriques, cette méthode nécessite aussi l'usage d'éphémérides et de correction des biais des repères temporels qui doivent être établis par un réseau d'orbitographie approprié. Les résultats précis ne peuvent être obtenus qu'en post calculs, comme pour la première méthode. Cependant, une précision absolue de l'ordre de 1 mètre doit être possible sur la base de quelques heures d'observation seulement ; elle serait dans ce cas essentiellement limitée par la qualité des données orbitales disponibles.

Il faut remarquer que la qualité du positionnement absolu que NAVSTAR doit permettre d'obtenir n'est pas, dans les principes, considérablement améliorée par rapport à celle que permet le TRANSIT. On attend toutefois un gain de précision de l'ordre de 2 mais surtout un gain de temps de collecte des données qui pourrait atteindre 5 à 10 lorsque la constellation opérationnelle sera sur orbite.

### 3.2 — Positionnement relatif, méthodes différentielles et "interférométriques"

Dans la grande majorité des cas, les travaux topographiques concernent le rattachement de points dont la position est à déterminer par rapport à un point de référence dont les coordonnées sont considérées connues dans le système considéré.

On peut alors envisager des observations des satellites NAVSTAR simultanément au point de référence, et au point dont on souhaite déterminer la position. La distance séparant les deux points peut être comprise entre 0 et plusieurs centaines de kilomètres.

Dans ce cas, la situation devient très différente car presque toutes les sources d'erreurs sont ressenties de la même façon aux deux points d'observation et leurs effets peuvent être annulés ou considérablement réduits par comparaison ou différences entre les résultats des deux récepteurs.

C'est le cas notamment pour les erreurs provenant des incertitudes de temps ou de position orbitale des

satellites, qu'elles soient naturelles ou volontairement provoquées. C'est aussi le cas, dans une large mesure, pour les retards ionosphériques.

Par contre, certaines erreurs demeurent ou peuvent même être légèrement aggravées, par exemple celles qui concernent les sources de temps - fréquence des récepteurs d'observation, le bruit des récepteurs, les effets des ondes réfléchies sur les obstacles avoisinant les récepteurs etc... Cependant, dans la mesure où les observations sont effectuées sur de nombreux satellites et sur des temps d'observation assez longs, les effets de ces erreurs aléatoires, sans biais importants, sont aussi considérablement atténués.

On peut distinguer plusieurs procédés physiques de traitement des signaux et, indépendamment, plusieurs méthodes d'observation.

### Méthodes d'observation

Les méthodes d'observation différentielles peuvent correspondre à de simples différences entre les résultats des mesures homologues effectuées par chacun des deux récepteurs sur un satellite. Elles peuvent aussi être dites doubles, si on observe plusieurs satellites simultanément et si les résultats obtenus sont associés par paires de satellites. Les mêmes paires de mesure sont formées pour chaque point d'observation et leurs résultats soustraits l'un de l'autre.

Le premier type de différence, comme déjà indiqué, permet de réduire les erreurs provenant des satellites et de la propagation alors que l'association par paires permet de réduire les erreurs instrumentales des récepteurs d'observation (défauts des horloges locales et d'étalonnage brut des récepteurs).

Dans la pratique, les récepteurs sont constitués de telle façon qu'ils présentent les résultats de mesures de base des phases ou des temps d'arrivée des signaux relativement à l'état de l'horloge locale du récepteur. Ces mesures de base sont le plus souvent enregistrées.

C'est au moment des post-calculs que l'on peut opter pour des logiciels permettant d'opérer selon des simples ou doubles différences.

### Procédés de traitement

Dans les procédés physiques de traitement, on peut citer :

— Les procédés limités à la seule fréquence L1 : il s'agit essentiellement des relevés de pseudo-distance C/A associés aux mesures doppler, de préférence à l'aide de récepteurs multicanaux.

C'est le procédé le plus simple à adapter, à partir de récepteurs développés à l'origine pour la navigation, à condition qu'ils soient bien étalonnés.

Suivant les moyens et méthodes mises en œuvre (qualité des pilotes de fréquence, méthode des simples ou doubles différences, de la disponibilité ou non de données additionnelles telles que orbites précises, moyens météo au sol, etc...), les résultats peuvent être compris entre un décimètre et un mètre pour des bases de 50 à 100 km.

— Les procédés permettant de faire appel indifféremment à une ou aux deux fréquences du système.

Dans ces procédés, on exclura d'emblée l'exploitation des codes P supposés inaccessibles. On connaît par quelques résultats d'expérimentation publiés :

#### • Les procédés interférométriques purs

Ils consistent à échantillonner à haute cadence la mesure des signaux aléatoires en relation précise avec un repère de temps local associé à chaque récepteur et à mémoriser les données convenablement datées dans une mémoire de masse.

Ensuite, en temps différé, on procède à une corrélation optimale des signaux enregistrés par ces deux récepteurs, afin de déterminer le décalage de temps d'arrivée qui constitue la donnée de base de la solution de position.

Ce procédé est très comparable aux procédés interférométriques VLBI. Il présente l'avantage de pouvoir traiter n'importe quel type de signaux à spectre large et d'être inambigu et assez précis.

Il présente par contre l'inconvénient de nécessiter des moyens complexes, coûteux et peu propices aux usages de terrain.

Des précisions de l'ordre de 1 à quelques décimètres sont espérés.

#### • Les procédés interférométriques spécifiques des signaux NAVSTAR

Ces procédés mis en œuvre dans les expérimentations SERIES de la NASA et leurs dérivés dans les matériels prototypes des sociétés ISTAC et MACROMETER s'appuient sur la connaissance a priori des caractéristiques d'horloge et lois de modulation des satellites de NAVSTAR. Sans nécessiter la connaissance de la clé d'accès, ils permettent cependant de reconstituer la phase d'arrivée de l'horloge de bit des générateurs de séquence des codes P des satellites au prix d'une certaine perte de sensibilité.

Ils compriment considérablement l'information à mémoriser, laquelle permet ensuite d'opérer la corrélation interférométrique. Le résultat est une mesure assez précise, rapide et simple et faiblement ambiguë. Une solution simple à cette ambiguïté peut être obtenue à l'aide du code C/A et/ou des mesures doppler.

Ces procédés nécessitent le maintien immuable de certaines caractéristiques des signaux NAVSTAR ; ils nécessitent une connaissance a priori assez précise des lois de mouvement des satellites observés, mais par contre ils ouvrent la voie à la possibilité de mettre sur le terrain des matériels de faibles dimensions, simples et souples à mettre en œuvre.

Des précisions centimétriques à décimétriques ont été observées à des distances de l'ordre de 10 à 50 kilomètres respectivement, et pour des temps d'observation assez brefs (de l'ordre de 1 heure et moins), à condition de disposer d'éphémérides réelles précises.

#### • Les mesures de phase de la porteuse

Ces procédés dont les premières expériences ont été conduites avec des récepteurs mettant en œuvre le décodage des codes P paraissent prometteurs. Cependant, la communauté civile se doit de juger des

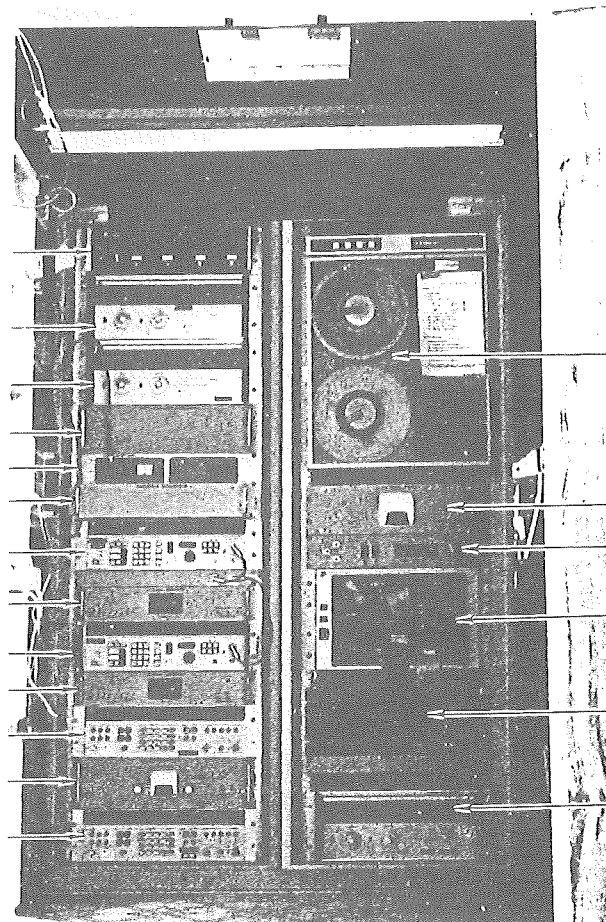
seules solutions dont elle pourra disposer et ne porter qu'un intérêt technique à ces expériences.

Une approche civile peut être envisagée sous la forme d'une reconstitution de porteuse ne nécessitant pas la connaissance des codes P. Ceci peut être obtenu par des opérations analogiques d'élévation au carré des signaux reçus. Ce procédé est susceptible de conduire aussi à une grande précision ultime, mais il entraîne une forte perte de sensibilité des signaux qui doit être compensée par une augmentation des gains d'antennes des récepteurs, et par l'allongement des temps d'observation. Ceci nuit, bien entendu, à l'encombrement et à la commodité de mise en œuvre des matériels. De plus, les résultats de mesure sont très fortement ambigus et il est nécessaire d'avoir recours à l'aide de l'un des deux procédés précédents pour résoudre cette ambiguïté.

Bien que ces procédés conduiront sans doute aux meilleures précisions (quelques centimètres à 100 kilomètres et plus), ils seront réservés au moins dans les débuts, à des applications particulières de géodésie.

## 4 — Quelques exemples de matériels américains

La FIGURE 7 représente les matériels expérimentaux destinés aux premières expériences de GÉODÉSIE par le GPS, conduites par le Naval Surface Weapons Center. Ce matériel utilise la méthode des mesures de phase sur les deux fréquences du système par intégration continue des variations de phase obser-

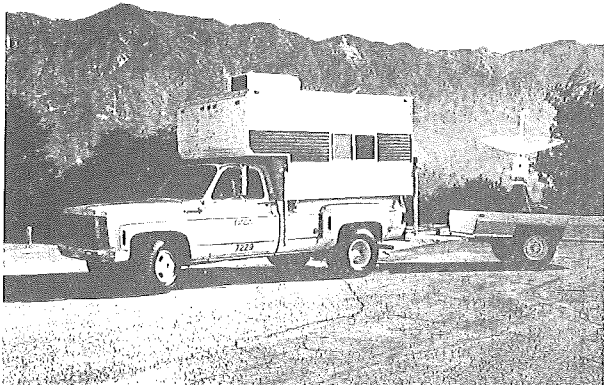


— Figure 7 : Récepteur de géodésie NAVSTAR du NSWSC.

## ...Premier Congrès International de l'AFT

vées du fait de l'effet doppler. L'ambiguïté des mesures de phase est levée à l'aide des observations sur les deux fréquences et à l'aide des codes P et C/A, moyennant l'intégration d'au moins 6 heures de mesures consécutives. Des précisions de l'ordre de 5 cm ont été obtenues à 100 kilomètres en utilisant des modèles simples de correction de propagation. En utilisant des radiomètres à vapeur d'eau permettant de déterminer le gradient vertical d'indice de réfraction à chaque extrémité de la base, la précision peut atteindre 1 à 2 centimètres, toujours pour 6 heures d'observations accumulées. ( $1 \text{ à } 2 \cdot 10^{-7}$ ).

La FIGURE 8 montre un matériel "mobile" utilisé par la National Aeronautics and Space Administration (NASA) lors d'expériences du procédé SERIES\* équivalentes aux méthodes interférométriques appli-



— Figure 8 : Matériel de la NASA pour l'expérimentation du système SERIES.

quées aux signaux NAVSTAR. Les résultats montrent une précision de l'ordre de 3 cm à 20 km meilleure que 10 centimètres à 170 kilomètres (environ  $5.10^7$ ). Ces matériels très performants sont encore en cours de perfectionnement mais leur complexité, leur encombrement, leur poids, les confinent actuellement à des expériences particulières de géodésie.

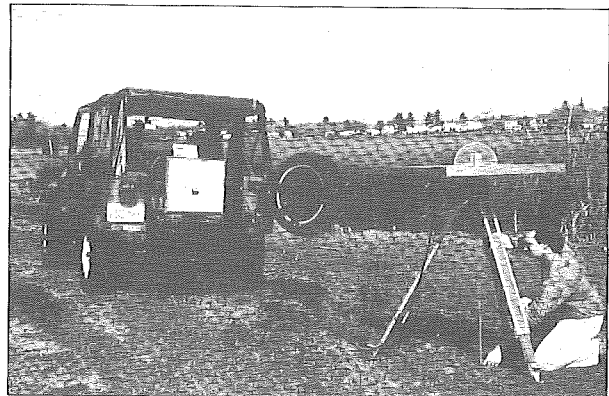
La FIGURE 9 présente un matériel de série de TEXAS INSTRUMENTS destiné au positionnement précis et à la topographie. Ce récepteur est apte à traiter les données du code C/A et des codes P ainsi que les données doppler. Ses dimensions lui permettent de



— Figure 9 : Matériel de positionnement et navigation précise de T.I.

le mettre en œuvre assez facilement sur des véhicules ou des navires. Son organisation interne correspond à un seul canal de mesure opérant successivement sur les signaux des différents satellites en vue du point d'observation, ce qui simplifie le récepteur mais conduit à une légère perte d'information. Néanmoins, il peut être utilisé en topographie où les premières expériences de terrain indiquent des résultats prometteurs.

La FIGURE 10 montre un matériel développé spécialement pour les opérations de topographie : le MACROMETER (TM) développé par MACROMETRICS INC. aux États-Unis.



```

EHEMERIS AND SURVEY DATA FILES          04/20/2000 13:14:00 17062143
TIME: 0.315          007320.376
LAT/0000.130        007302.334
SVTYPE FILE: 1420.00.315

"MIN-SQUARE" = 0.10725600 FOR 122 OBSERVATIONS. EPOCHS: 1 - 00
APPROX. STANDARD DEVIATION OF MEASUREMENT ERROR = 3. MILLISECONDS

ERROR CORRELATION MATRIX:
1.0000
0.3407 1.0000
0.1249 -0.1390 1.0000

(LABEL "UNIT")          A(SIZE)          ADJUSTED UNCORRECTED KEYS: POST IT
1 SITE 1 LAT. (DEG)      000435129.47480  0.00000000000
2 SITE 1 LONG. (DEG)     007114128.14177  0.00000000000
3 CLOS 1 ELL. (M)        000191425.00000  0.00000000000
4 SITE 1 LAT. (DEG)      000435129.47480  0.00000000000
5 SITE 1 LONG. (DEG)     007114144.64879  0.00127670105
6 CLOS 1 ELL. (M)        0.00000000000  0.00000000000
7 CLOS 1 SPCH. (SECS)    0.00000000000  0.00000000000
8 CLOS 1 RATE            0.00000000000  0.00000000000
9 CLOS 1 W.C. (1/REV)    0.00000000000  0.00000000000
10 CLOS 2 EPOCH (SECS)   0.00000000000  0.00000000000
11 CLOS 2 RATE           0.00000000000  0.00000000000
12 CLOS 2 AX. (1/REV)    0.00000000000  0.00000000000
13 LAT 1 (CYCLES)        0.00000000000  0.00000000000
14 LAT 2 (CYCLES)        0.00000000000  0.00000000000

```

— Figure 10 : Récepteur de topographie MACROMETER en position sur le terrain.

Ces matériels mettent en œuvre, en les simplifiant, les méthodes employées dans le procédé interférométrique "SERIES", et surtout en limitant le plus possible la complexité des matériels à mettre en œuvre sur le terrain et en réservant les fonctions et calculs complexes à un centre de traitement en différé des données enregistrées. Même en utilisant les données d'une seule fréquence du GPS, le MACROMETER a permis d'atteindre des précisions de l'ordre de quelques centimètres pour des bases de l'ordre de quelques dizaines de kilomètres, en utilisant des données d'éphémérides précises et des corrections de propagation simples en post-calculs.

D'autres constructeurs américains, tels que MAGNAVOX et d'autres, ont en préparation des matériels destinés particulièrement aux opérations de topographie, dont on peut penser qu'ils seront mis prochainement sur le terrain pour expérimentation.

\* Satellite Emission Range Interfered Earth Survey.



## ...Premier Congrès International de l'AFT

- Clavier associé :  
Dimensions : hauteur : 50  
                  largeur : 490  
                  profondeur : 235  
Poids : 1 Kg.

### 6— Conclusions :

Le système de satellites américains NAVSTAR devrait être opérationnel vers 1988/1990. Les caractéristiques des orbites et des signaux de ces satellites les rendent particulièrement intéressants pour les applications de géodésie et de topographie.

Les différentes méthodes expérimentées : intégration des mesures doppler, mesures de phase et interférométrie ont permis aux matériels scientifiques d'essais d'atteindre des précisions centimétriques jusqu'à des distances supérieures à 100 kilomètres.

Ces matériels d'essais constituent, pour les utilisateurs potentiels, des curiosités scientifiques assez éloignées de leurs préoccupations de tous les jours. Cependant, de premières approches d'appareils légers et déjà aisément transportables sur le terrain existent, montrent des résultats prometteurs, et préfigurent les appareils de demain.

Ils vont permettre, dès à présent, d'obtenir un service équivalent ou meilleur que celui offert par le système TRANSIT dont la fin de vie approche.

Ces matériels ou leurs successeurs en cours de gestation permettront, dans un futur proche et à l'aide de données issues de réseaux d'orbitographie et d'évaluation des gradients d'erreurs de propagation, d'atteindre des précisions centimétriques avec des appareils suffisamment simples et légers pour que les topographes puissent les utiliser efficacement dans leurs missions traditionnelles.

### Références

- (1) "Global Positioning System" Vol. 1 et 2. The institute of navigation Washington D.C.
- (2) "Le point sur NAVSTAR GPS" - C. Boucher IGN. Journées SEE IFN du 17 octobre 1984.
- (3) "Un récepteur français de NAVSTAR" - G. Bonin SERCEL. Journées SEE IFN du 17 octobre 1984.
- (4) "Positioning By Satellites, Transit and G.P.S." Pr. V. Ashkenazi - University Nottingham. Hydrographic Society Nov 82.
- (5) "Series" P.F. Mac Doran JPL 3<sup>e</sup> Int. Geodetic Symposium on Satellite Doppler Positioning - Las Cruces Feb. 82.
- (6) GPS Satellite Positioning" J. Collins - ACMS bulletin février 84.
- (7) "GPS Control For Hydrographic Surveys, our Overviem" M.C. Grunthal Geo/Hydro INC.
- (8) "Report on test and demonstration of Macrometer (TM) Model V - 1000

Interferometric surveyor" F.G.C.C. Report IS-83.2. Rockville Maryland 20852.

(9) "The Naval Observatory - Silent Partner in Surveying and Navigation" CDR J.L. Hammer - U.S.N.O.

(10) "U.S. Navy Activities in Marine Geodesy" J.B. Mooney USN.

(11) "Ionospheric Measurements From Navstar Satellites" P.S. Jorgensen Aerospace Corporation.

(12) "Erreur ionosphérique résiduelle dans les systèmes de radiolocalisation spatiale bifréquences" J. Saint-Etienne CNES - Annales de Géophysique 1-1981.

(13) "Precise Measurements with GPS" P.S. Jorgensen Plans 84.

(14) "GPS Satellite Surveying - Practical Aspects" L.D. Hothorn National Geodetic Survey Nos-Noaa. May 84.

(15) "On Satellite Signal Processing Techniques Applicable To GPS Geodetic Equipment". P.J. Hui - CMC March 82.

(16) "The Synergism Of GPS Code And Carrier Measurements" - R. Hatch - Janvier 1982. Magnavox MXTM 3353-82.

## 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 PRÉCISION

# LART

PHOTO-REPROGRAPHIE PHOTO-CARTOGRAPHIE

## LES APPLICATIONS DE LA REPRODUCTION TECHNIQUE

5, rue de la Véga  
75012 PARIS

 **347.15.92**

# Kern DM 502

## Télémètre électro-optique

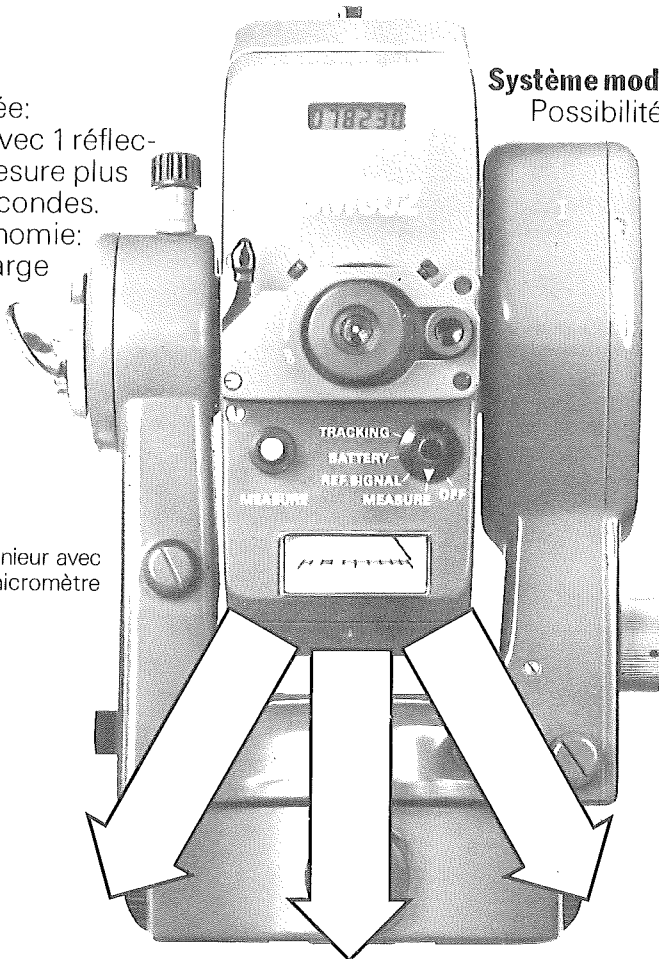
### Nouveau:

Plus grande portée:  
plus de 1200 m avec 1 réflec-  
teur. Durée de mesure plus  
courte: 8 ou 4 secondes.  
Plus longue autonomie:  
10 heures par charge  
de batterie. Affi-  
chage à cristaux  
liquides (LCD).

### Système modulaire d'appareils Kern:

Possibilités universelles de com-  
binaison du DM 502  
avec les théodolites  
optiques et électroni-  
ques Kern. Possibilité  
d'extension avec enre-  
gistreur électronique  
pour la mémorisation  
des données avec  
compatibilité  
d'ordinateur.

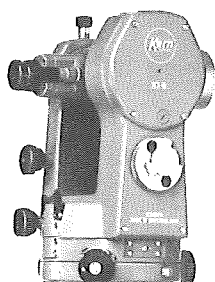
Kern DKM 2A  
Théodolite d'ingénieur avec  
lecture sur micromètre



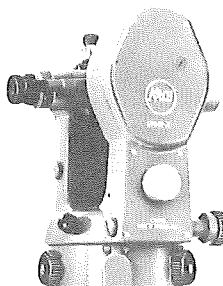
Système  
modulaire  
d'appareils Kern



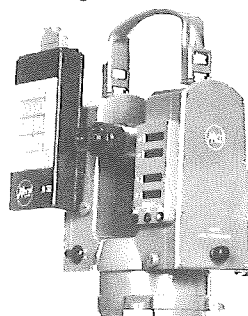
Kern K1-S. Théodolite d'ingénieur  
avec lecture sur échelles



Kern DKM 2-A.  
Théodolite à secondes



Kern E1. Théodolite électronique  
avec enregistreur



**thormann**

35, rue Fondary, 75015 Paris  
Téléphone 578 61 11, Télex 202 453

### Coupon

Le nouveau DM 502 m'intéresse. Je désire le prospectus détaillé en cou-  
leurs ☐, une offre ☐, une démonstration ☐.

Nom \_\_\_\_\_

Profession \_\_\_\_\_

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

Téléphone \_\_\_\_\_

# SOYEZ «BRANCHÉ» !

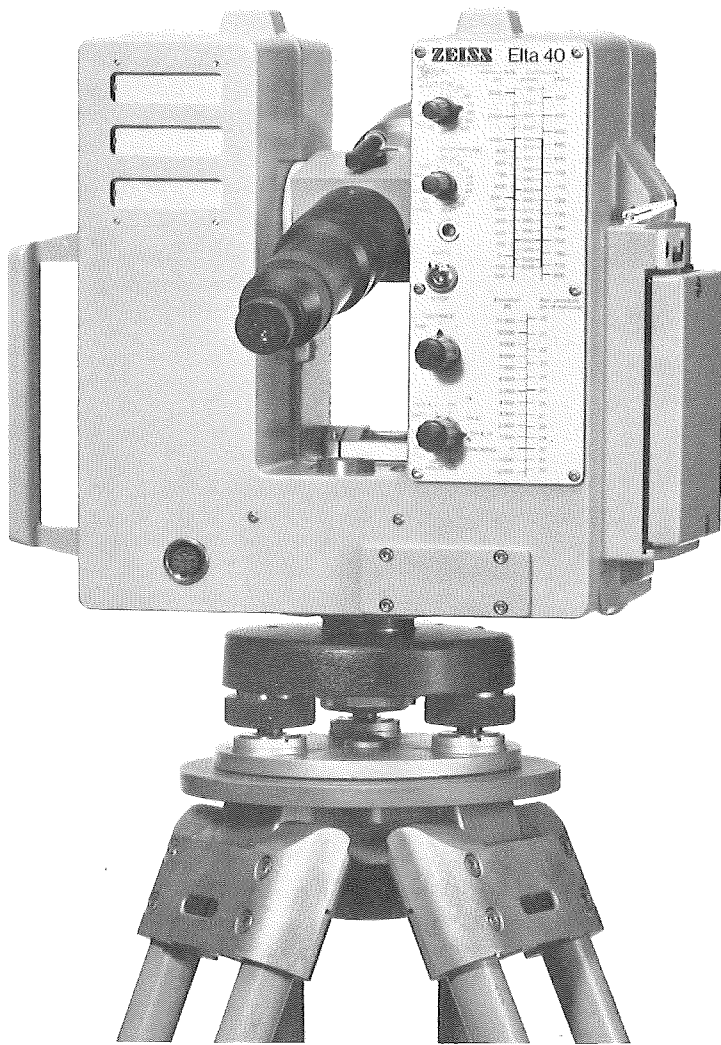
## ELTA 40 + REC 200

L'automatisme  
intégral

**ZEISS**

*capacité de la mémoire :*

**800 Points**



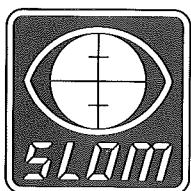
ELTA 40

- Mesure rapide (< 1").
- Distance réduite.
- Dénivelée.
- Calcul des coordonnées.
- Raccordement direct sur REC 200, EPSON HX 20, etc.



REC 200

*Documentation et démonstration sur demande à :*



# SLOM



# GAZETTE DE L' AFT

## Calendrier 1985-86

**Retenez ces dates....inscrivez-vous....participez....**

### NATIONAL

#### PARIS

**29-21 janvier 86** - Colloque National "L'Académie des Sciences et la Figure de la Terre" du XVIII<sup>e</sup> siècle à l'Ere spatiale.

#### GRENOBLE - AFT

**Printemps 86** - Colloque sur le thème. "La topographie dans la prévention des risques naturels et technologiques majeurs".

#### AIX-EN-PROVENCE - AFT

**21-23 novembre 85** - Colloque sur le thème : "Quelle topographie pour les Plans d'Occupation des Sols ?"

Pour le moment des renseignements peuvent vous être donnés par :

M. Pierre Second, Parc Verdillon - A2  
75 Boulevard Icard, 13010 Marseille.

#### TOULOUSE - AFT et SFPT

**Automne 86** - Colloque sur la Télédétection et les premiers résultats de SPOT.

#### SAINT-MANDE - CFC et IGN

**2 au 4 septembre 85** - Colloque : "Cartographie et Enseignement".

### INTERNATIONAL

#### DÜSSELDORF - RFA

**18-21 septembre 85** - Congrès de l'Association Allemande d'Arpentage.

Inscription : "Geodätika 85",  
Vermessung- und Katasteramt,  
Postfach 1120, DE - 4000 Düsseldorf 1, RFA.

#### TORONTO - ONTARIO - CANADA

**Du 1<sup>er</sup> au 11 juin 1986** - Congrès de la Fédération Internationale des Géomètres (FIG). Thème : "Terre et Espace - Horizons illimités pour les Géomètres (Topographes)".

On peut d'ores et déjà s'adresser à :  
"FIG CONGRESS ' 86", PO BOX 186 - Station Q,  
CA - TORONTO - Ont. M4T 1M2, (Canada)

---

*Pour d'autres manifestations, consultez également le "FIL"...*

---

### PRIX DU CONGRÈS DE LA FIG...

Un concours sur le thème du Congrès de Toronto est ouvert aux jeunes professionnels de moins de 35 ans.

Le mémoire devra comporter de 2 à 5 000 mots sur un sujet original aux développements inédits, dans une des langues officielles de la FIG (Français-Allemand-Anglais) et être remis avant le 31.12.85, sous le couvert de l'Ordre des Géomètres-Experts Français.

Le Prix du Congrès comprend :

- une invitation personnelle du Président de la FIG au Congrès 1986,
- un prix en espèces de 2 000 francs suisses, remis au lauréat au cours du congrès,
- le billet avion, aller et retour, permettant au lauréat de participer au congrès.

... nouvelles... nouvelles... nouvelles...

## Nouvelles de la Profession

La nouvelle Convention Collective Nationale des Cabinets de Géomètres, Topographes, Photogrammètres et Experts Fonciers et des Entreprises de Photogrammètres Privés a été signée le 20 novembre 1984 entre la Fédération Nationale des Géomètres-Experts, la SPA.BE.IC-CGC, la Chambre Syndicale Nationale des Photogrammètres Privés, la CGT, la CFDT, la CGT-FO.

Un fascicule est disponible à la Maison du Géomètre, 40, avenue Hoche, 75008 Paris. Les huit chapitres de la Convention ont trait aux points suivants :

Titre I	Dispositions Générales
Titre II	Exercice du droit syndical et représentation du personnel
Titre III	Engagement et licenciement du personnel
Titre IV	Prévoyance - Hygiène - Sécurité
Titre V	Congés payés
Titre VI	Déplacements en France métropolitaine y compris la Corse
Titre VII	Rémunération
Titre VIII	Procédure de conciliation et d'interprétation.

Quatre annexes précisent la grille des emplois, les salaires minima et les coefficients hiérarchiques des emplois, les ressorts des régions, la définition des travaux insalubres.

L'accord particulier aux cadres, du 14 mars 1979, est également publié in extenso.

emploi... emploi...

### DEMANDES D'EMPLOI

• Techniciens Géomètres - Topographes Diplômés CFPA de Meaux (Niveau III). Sommes décidés à travailler toutes régions et étranger. Libres au 27/06/85. Faire offres au :

CFPA de Meaux  
70, avenue de la Victoire  
77109 MEAUX CEDEX

## AFT - Assemblée Générale extraordinaire du 1<sup>er</sup> juin 1985 Procès-Verbal

Les membres de l'Association ont été convoqués, en deuxième convocation, en Assemblée Générale extraordinaire à Brest le samedi 1<sup>er</sup> juin à 8 h 30, le quorum n'ayant pu être atteint lors de la première assemblée du 6 décembre 1984 à Paris.

L'ordre du jour portait sur la modification du statut - Article 4 - moyens d'actions.

Le Président a proposé, après avoir relu l'article 4 et ses 8 paragraphes, d'ajouter un 9<sup>e</sup> moyen d'action ainsi libellé :

### 9. La constitution d'un Comité de parrainage

Conformément à l'article 13 des statuts, la proposition ayant reçu l'accord unanime des membres présents à l'Assemblée Générale extraordinaire a été acceptée.

## Appel de candidatures

### Candidatures au Conseil de l'Association

Les membres de l'Association Française de Topographie sont informés que 4 membres nationaux du Conseil seront à élire par la prochaine Assemblée Générale de l'Association (qui se tiendra à Aix-en-

Provence le 22 novembre 85) pour remplacer ou renouveler les 4 mandats arrivant à expiration en 1985 (3<sup>e</sup> tiers du Conseil).

Suivant les statuts, toute personne physique, membre de l'Association peut faire acte de candidature. Par décision du Bureau, les lettres de candidature doivent parvenir au siège de l'Association avant le 15 octobre 1985.

## Colloque National sur la "Figure de la Terre"

Ce colloque est organisé par l'Académie des Sciences à l'occasion du 250<sup>e</sup> anniversaire des missions de l'Académie en Laponie et au Pérou pour la mesure d'arcs du Méridien. Ces missions sont familières aux lecteurs de XYZ, qui en ont déjà suivi certaines péripéties dans les articles de J.-J. Levallois. Le colloque se tiendra du 29 au 31 janvier 1986 dans la salle Hugot du Palais de l'Institut ; la séance inaugurale du 29 janvier sous la Coupole. Les conférences porteront les unes sur les travaux des missions de 1736, les autres sur les travaux et résultats contemporains de la Géodésie et de la Géophysique à l'ère spatiale. Le nombre de places étant limité à 200 les pré-inscriptions, dont quelques formulaires, sont à la disposition des intéressés au siège de l'AFT, doivent être retournées avant le 15 septembre prochain.

# La FIG remplit sa mission internationale

par J. TASSOU  
Secrétaire permanent - Commission I - FIG

**TEL** fut le message du Professeur Mathias, président de la FIG au congrès de Montreux, en 1981.

**TEL** est le but que doit se fixer tout président de commission, tout délégué au comité permanent, toute association membre de la FIG, conformément aux statuts.

**TEL** est, en tout cas, celui qu'a atteint la commission I, en permettant à l'Italie d'améliorer le niveau de l'enseignement professionnel des géomètres.

En effet, la résolution finale R 105 de la commission I, votée en Assemblée Générale du congrès de la FIG, à Sofia en 1983, recommandait que, "dans certains pays où les jeunes géomètres diplômés éprouvent certaines difficultés à faire valoir leurs compétences, celles-ci soient sanctionnées par des diplômes reconnus et acquis au terme d'une sélection correspondant à ces préoccupations".

Grâce à cette résolution, la loi du 7 mars 1985, portant modification à l'organisation professionnelle des géomètres, a enfin institué, en Italie, le stage obligatoire de 2 ans, ainsi qu'un second examen après cette période.

La FIG ne peut que se féliciter de ce résultat et partager la satisfaction du Conseil National des Géomètres Italiens.

*Extrait de la Gazzetta Ufficiale Della  
Repubblica Italiana*

## **Loi n° 75 du 7 mars 1985**

### **Modifications à l'organisation professionnelle des géomètres**

La Chambre des Députés et le Sénat de la République ont approuvé :

Le Président de la République  
Promulgue

La loi ci-après :

#### **Art. 1**

Le titre de géomètre revient aux licenciés des instituts techniques qui ont obtenu le diplôme spécifique suivant les règlements scolaires.  
L'exercice de la profession libérale est réservé aux inscrits au Tableau professionnel.

#### **Art. 2**

Pour être inscrit au Tableau de l'Ordre des géomètres, il est nécessaire de :

1) être citoyen italien ou d'un Etat-membre des Communautés européennes, ou bien italien n'appar-

tenant pas à la République ou encore citoyen d'un Etat avec lequel il existe un traitement de réciprocité ;

2) jouir du plein exercice des droits civils ;

3) avoir la résidence d'état civil dans la circonscription du collège professionnel auprès duquel l'inscription est demandée ;

4) être en possession du diplôme de géomètre ;

5) avoir obtenu le certificat d'aptitude professionnelle.

L'aptitude à l'exercice de la profession est subordonnée à l'accomplissement d'une période de pratique de deux années auprès d'un géomètre, d'un architecte ou d'un ingénieur civil, inscrits aux Tableaux des Ordres professionnels respectifs depuis au moins cinq ans, ou bien à l'exercice, durant cinq ans au moins, d'une activité technique subordonnée, même hors d'une étude technique professionnelle et, au terme de ces périodes, à la réussite à un examen d'Etat, régi par les normes de la loi n° 1378 du 8 décembre 1956 et modifications ultérieures.

Les modalités d'inscription et le déroulement de la pratique de la profession, ainsi que la tenue des registres y relatifs de la part des collèges professionnels des géomètres, seront réglementés par les directives que le Conseil national professionnel des géomètres (\*) devra promulguer dans les trois mois de la date d'entrée en vigueur de la présente loi.

#### **Art. 3**

Les dispositions relatives à l'aptitude à l'exercice de la profession s'appliquent à partir du jour suivant celui de l'entrée en vigueur de la présente loi.

Les périodes de pratique de la profession écoulées et les dispositions adoptées, par les organes professionnels des géomètres, à l'entrée en vigueur de la présente loi, gardent leur efficacité à toutes fins utiles.

La présente loi, munie du sceau de l'Etat, sera insérée dans le Recueil officiel des lois et des décrets de la République italienne. Il est fait obligation à quiconque il appartient de l'observer et de la faire observer comme loi de l'Etat.

Fait à Rome, ce jour 7 mars 1985.

Pertini

Craxi, Président du Conseil des Ministres

(\*) Consiglio Nazionale Geometri.

# 20 ans après

Mai 1965

## Géomètre

◆ E.S.G.T.-D.P.L.G., 30 ans. cherche association vue reprise région Nord. Z.S. (1).

◆ D.P.L.G., 38 ans, solvable achète Cabinet moyen. Préf. courte association possible. Z.X. (1).

◆ A CEDER, cause santé Cabinet ville Sud-Est. Archives 1880. Clientèle urbaine et rurale. Matériel et éventuellement locaux. Z.V. (1).

◆ CEDE cause santé Cab. proche banlieue parisienne. A.D. (1).

◆ VENDS CABINET plein développement région Sud-Est. X.B. (1).

◆ CEDERAIS appartement à Génomètre D.P.L.G., désirant s'installer à Paris. A.A. (1).

◆ INSP. CAD. RETR. 57 a. Géom.-Exp. D.P.L.G. ch. emploi Versailles Paris. A.B. (1).

◆ LOCATION tout matériel topographique: Théodolite, Tachéomètre, niveaux, mires invar, etc. Etat neuf. A.E. (1).

◆ TOPOCALCUL effectue vos calc. Topo. Triang. polyg. surf. rbt, quelle qu'en soit l'importance gde ou pte. Rts contre timbre. Cor. à MEUNIER. Cité Nouvelle, Guise (Aisne).

◆ DESSINATEUR prend ts travx dess. topo. à domicile. Délais rapides. A.L. (1).

◆ RECHERCHE PRESSE A COPIER ENTIEREMENT EN BOIS. M.D. (1).

◆ VENDS CABINET cause santé. Rég. indust. Est. Possibilité logt. Travaux particul. et adm. en cours. A.M. (1).

◆ RESTITUTEURS: vends PLOMB pour avances de toit ZEISS n'ayant jamais servi 75 % du prix neuf. AR. NAUD, 72, rue Sully, Lyon-6<sup>e</sup>.

◆ A CEDER Tachéomètre-Théodolite Secrétan type I.G.N. état neuf, prix intérés. A.N. (1).

(1) Pour entrer en relation avec l'auteur d'une annonce à initiales, mettre la lettre qui lui est destinée dans une enveloppe affranchie. Mettre cette enveloppe dans une autre enveloppe également affranchie et l'adresser à: Revue des Géomètres-Experts, Bray-sur-Seine (Seine-et-Marne), qui transmettra.

EN MAI 1965, P. BLANCHET, Ingénieur E.T.P. "inventait" la location d'instruments de topographie, par cette petite annonce parue dans le "Géomètre".

## En 1985 BLANCHET LOCATOP c'est :

- Une Société Anonyme au capital de 2.400.000 F.
- 900 m<sup>2</sup> de bureaux dans un hôtel particulier de Paris (16<sup>e</sup>)
- Une équipe d'une douzaine de personnes
- Un parc de location de près de 200 appareils WILD classiques et d'une trentaine de distancemètres, utilisés essentiellement à l'étranger.

## En informatique

- Un parc qui atteindra 1.500 ordinateurs ou périphériques HEWLETT PACKARD exclusivement.
- Un chiffre d'affaires qui dépassera 30 millions de francs, et un investissement supérieur à 10 millions de francs.

## Et aussi en sport automobile,

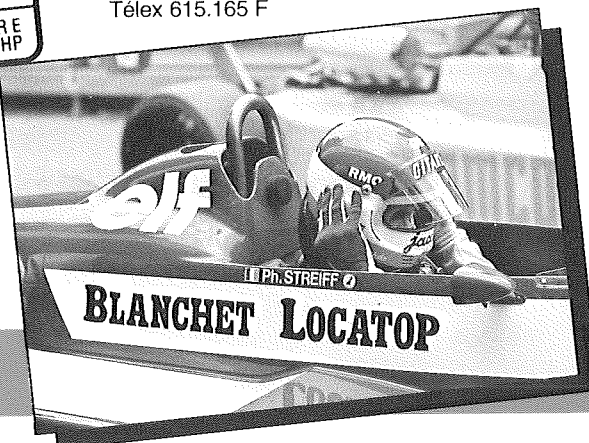
Avec ses partenaires ELF et GITANES, un grand sponsor dont les bolides sont présents sur tous les circuits européens.

1985

# BLANCHET LOCATOP



8, rue Jasmin 75016 PARIS Tél. (1) 224.01.40  
Télex 615.165 F



**TOUJOURS DANS LA COURSE**

# L'AFT Centre en voyage... en Ile-de-France

par R. Thomas  
Président de la Région Centre

C'est le vendredi 26 avril 1985 que des membres de la région Centre se retrouvèrent à la gare d'Austerlitz avec notre Président National et quelques membres de la Région Ile-de-France pour visiter le chantier de la traversée sous-fluviale de la Marne à Nogent.

Cette visite a eu lieu grâce à mon ami Boichot membre de l'AFT et à l'amabilité de M. Blanc, chargé de Mission. Merci également à M. Delrieu, Ingénieur et à son équipe qui nous a exposé très clairement à l'aide d'un montage audiovisuel, les travaux en cours. Une discussion a ensuite été entamée entre le conférencier et les différents membres de l'AFT avant d'aller visiter le chantier.

Le compte rendu que vous lirez a été fait grâce à la documentation mise à notre disposition par la direction départementale de l'équipement du Val-de-Marne, arrondissement opérationnel d'études et de grands travaux subdivision EGT 13.

Après cette visite un repas pris au buffet de la gare d'Austerlitz permit à chaque visiteur de se retrouver et d'échanger leur point de vue sur la visite et sur bien d'autres sujets.

Ce que je regrette personnellement en tant que Président Régional, c'est le peu de participants à de telles manifestations, c'est dommage.

Maintenant place aux explications.



L'autoroute A 86, "Périphérique d'Ile-de-France", traversera le Val-de-Marne sur 23 km, entre Rosny-sous-Bois et Fresnes.

Cette traversée permettra en particulier d'assurer une liaison entre les autoroutes du Nord (A 1) et du Sud (A 6).

Le franchissement de la Marne est un des tronçons restant à exécuter pour terminer ces travaux. C'est également l'un des plus délicats.

Afin de préserver l'environnement, le principe d'une traversée sous-fluviale a été retenu.

## Délai d'exécution :

Les travaux de génie civil ont commencé en juillet 1984 et seront normalement achevés courant 1988.

## Entreprises adjudicataires du marché de Génie Civil :

Bouygues, Bouygues Offshore, Intraforcofor, Soletanche.

Montant du marché de Génie Civil : 290 000 000 F (valeur juillet 1984).

Financés par l'Etat	30 %
(fonds spécial grands travaux) et la Région Ile-de-France	70 %

## Longueur des tunnels

Section rive droite :	voie ouest 150 m
	voie est 140 m
Section en Marne :	voie ouest 210 m
	voie est 140 m
Section rive gauche :	voie ouest 150 m
	voie est 10 m
Coût global des travaux (juillet 84)	440 MF

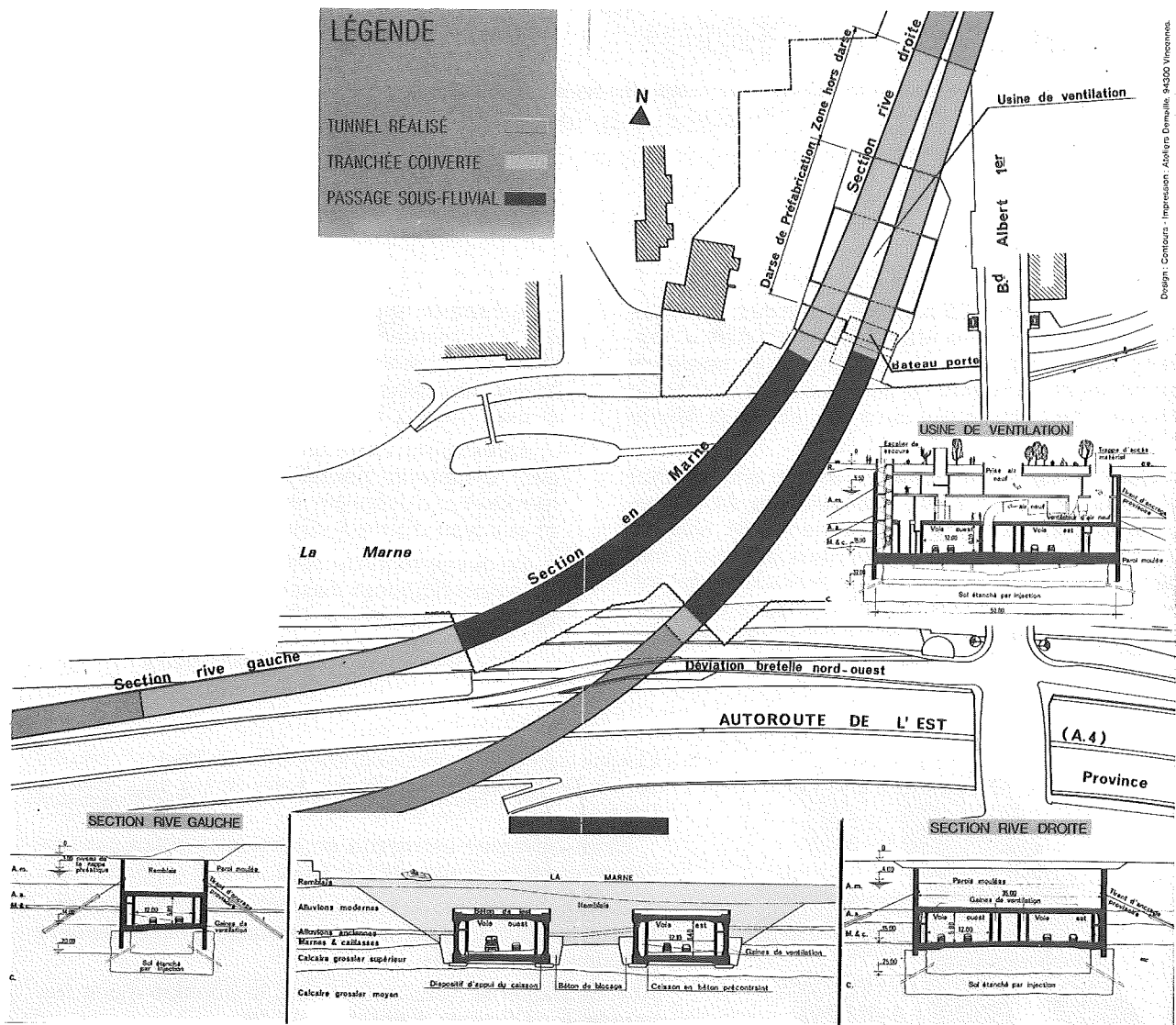
Cette traversée sous-fluviale de la Marne est en fait constituée de deux types d'ouvrages distincts :

- le tunnel sous la Marne proprement dit,
- les tranchées couvertes situées sur les deux rives permettant la liaison du tunnel avec les tronçons adjacents, ainsi qu'une usine de ventilation située en rive droite.

Le tunnel sous la Marne est réalisé par immersion dans une souille creusée dans le lit du fleuve de

caissons en béton précontraints. Ceux-ci seront préfabriqués à sec dans une darse fermée par un bateau-porte mobile et aménagée sur le site de la future usine de ventilation en rive droite.

Les ouvrages réalisés en rive sont exécutés à l'abri de parois moulées maintenues par des tirants provisoires. Le fond de fouille est étanche par injection. Compte tenu de la géologie (40 %

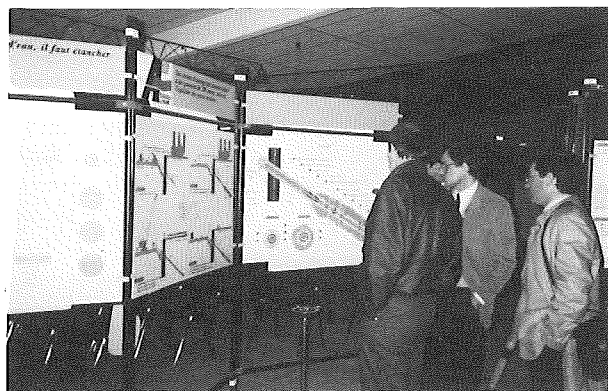


### Des chiffres

Parois moulées	12 000 m <sup>2</sup>	Coffrages	83 000 m <sup>2</sup>
Palplanches dans tranchée de coulis	2 000 m <sup>2</sup>	Béton armé (structures terrestres)	30 000 m <sup>3</sup>
Palplanches métalliques	1 300 t	Béton précontraint	
Injections forages	52 000 ml	(caissons immergés)	19 000 m <sup>3</sup>
Coulis bentonite - ciment	12 000 m <sup>3</sup>	Aciers pour béton armé	6 000 t
Tirants provisoires (de 60 à 240 t)	470 u	Aciers pour béton précontraint	900 t
Forages	11 000 ml	Remblais en site terrestre	84 000 m <sup>3</sup>
Terrassements en site terrestre	205 000 m <sup>3</sup>	Remblais en site fluvial	60 000 m <sup>3</sup>
Terrassements en site fluvial	160 000 m <sup>3</sup>		

des parois dans du calcaire dur) et des problèmes liés à l'environnement (site urbanisé) il a été fait appel à un matériel spécial : l'hydrofraise.

L'hydrofraise est constituée d'un bâti métallique portant à sa base 2 tambours munis de pics, tournant en sens inverse et désagrégeant le terrain. Les boues de forages sont traitées par criblage et hydrocyclonage avant d'être réinjectées en tête de tranchée.



## Les travaux en Marne

### La mise en place des caissons

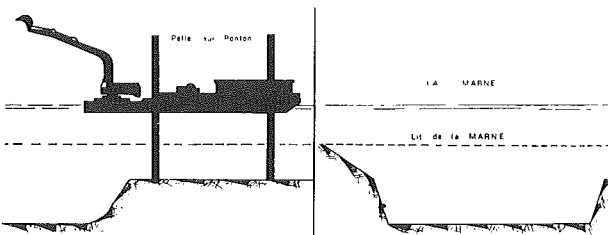
Les caissons sont en béton précontraint dans les 3 dimensions. Le chantier comporte 7 caissons préfabriqués (4 à l'ouest et 3 à l'est).

Les éléments de tunnel construits dans la darse sont obturés à leurs deux extrémités afin de former de véritables caissons étanches.

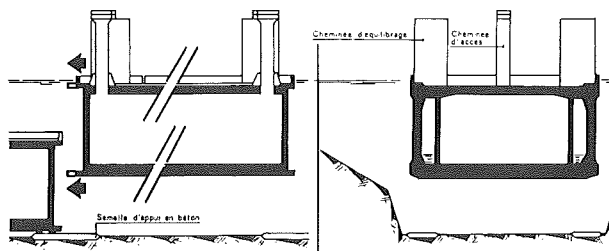
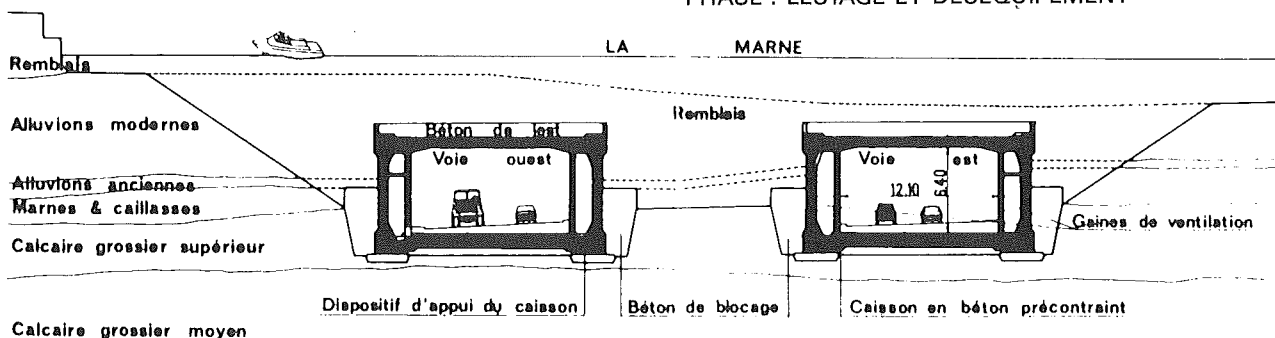
Après ouverture du bateau-porte mobile, ceux-ci sont acheminés par treuillage et flottaison au droit de leur emplacement définitif. Ils sont alors immergés par lestage dans une souille préalablement réalisée en rivière, et raboutés à la partie déjà construite.

#### COUPE LONGITUDINALE

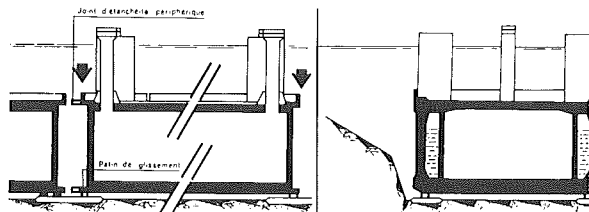
#### COUPE TRANSVERSALE



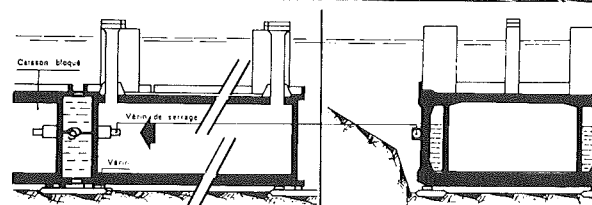
#### 1<sup>re</sup> PHASE : DRAGAGE ET DEROGTAGE EN MARNE



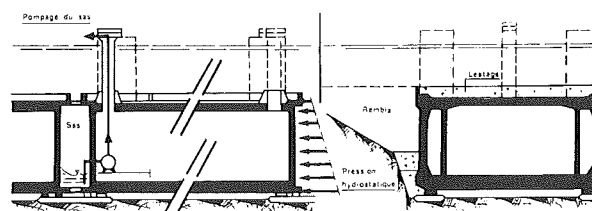
#### 2<sup>e</sup> PHASE : TRANSPORT DU CAISSON AU DROIT DE SON EMPLACEMENT



#### 3<sup>e</sup> PHASE : IMMERSION DU CAISSON — POSE SUR APPUI PROVISOIRE

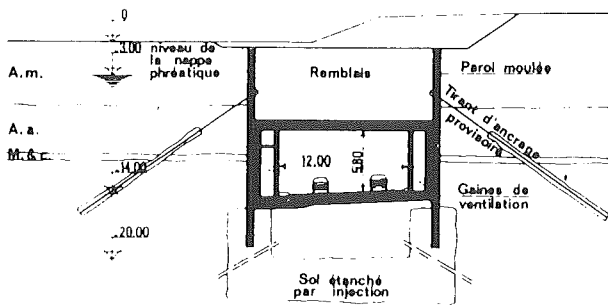


#### 4<sup>e</sup> PHASE : PRECOMPRESSION DU JOINT D'ETANCHEITE A L'AIDE DE VERINS

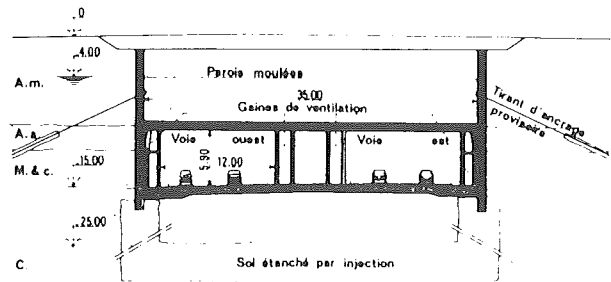


#### 5<sup>e</sup> PHASE : MISE SUR APPUI DEFINITIF — COMPRESSION TOTALE DU JOINT PAR POMPAGE DU SAS — 6<sup>e</sup> PHASE : LESTAGE ET DESEQUIPEMENT

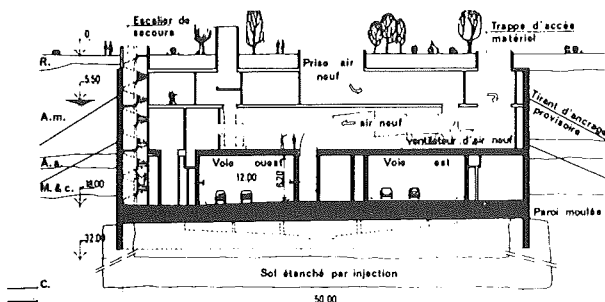
## SECTION RIVE GAUCHE



## SECTION RIVE DROITE



## USINE DE VENTILATION



**La NOUVELLE "Borne Hilare" vient de paraître...**



**pour une commande groupée... inscrivez-vous au Siège de l'AFT... comptez environ 65 F.**

# Normalisation des termes et des symboles utilisés en topographie

*par Michel BRABANT et Raymond d'HOLLANDER*

La Commission d'Enseignement de l'Association Française de Topographie s'est lancée dans une étude de normalisation des termes et des symboles utilisés en Topographie.

L'expérience prouve en effet qu'une même appellation ne concerne pas nécessairement le même type d'objet ou d'opération chez plusieurs topographes et qu'inversement à un objet donné ou à une même opération correspondent parfois à des appellations différentes. A l'intérieur d'une même administration, d'une même corporation, d'un même type d'enseignement, il n'est pas rare de trouver des discordances de définition, d'appellation ou de symbole ; c'est vrai à plus forte raison dans l'ensemble du secteur professionnel de la Topographie.

Consciente de cette situation, la Commission d'Enseignement de l'AFT qui rassemble principalement des Enseignants de topographie, s'est mise au travail pour rédiger un vocabulaire des termes utilisés en Topographie, comportant leur définition et leur symbole.

Le travail a été réparti entre plusieurs auteurs chargés de définir les termes des chapitres suivants :

- 1 - Données de base.
- 2 - Mesurage de distances.
- 3 - Mesurage des angles.
- 4 - Nivellement.
- 5 - Canevas.
- 6 - Levé de détails, arpentage, cadastre.
- 7 - Tachéométrie.
- 8 - Levé à la planchette, mise à jour et révision des levés.
- 9 - Topométrie numérique.
- 10 - Calcul topométrique.

Les auteurs ayant, chacun en ce qui le concerne, à peu près terminé leur travail, il reste un important travail d'homogénéisation à effectuer, qui ne pourra être entrepris qu'en octobre prochain.

Mais la Commission s'est déjà préoccupée de la future publication de ce travail et elle a pris contact avec l'AFNOR : Association Française de Normali-

sation. Celle-ci est bien disposée à notre égard et a proposé six solutions possibles de publication. Parmi elles, la Commission a retenu celle qui lui paraît la plus souple : "La norme expérimentale" publiée à titre provisoire sans enquête publique.

M. de Preester, Inspecteur Général de l'Enseignement Technique a bien voulu honorer de sa présence l'une des réunions de la Commission. Dès que la norme expérimentale aura paru, M. de Preester est prêt à la diffuser dans tous les Etablissements de son ressort et à recommander à tous les Professeurs de respecter dans leur enseignement les définitions et les symboles de la norme.

On conçoit l'importance d'une telle mesure, qui suscite l'espoir de voir quelques années plus tard tous les élèves, sortant de ces Etablissements et entrant dans la vie professionnelle, utiliser un vocabulaire et des symboles uniformes.

En attendant que soit réalisée l'homogénéisation des différents chapitres du vocabulaire, la Commission a consacré plusieurs séances à la normalisation des seuls symboles.

— Elle a eu le souci de ne pas bousculer les habitudes et de conserver dans toute la mesure du possible les symboles déjà utilisés. Mais dans certains cas, elle a constaté des divergences et il a fallu procéder à un choix parfois douloureux entre des solutions également répandues.

Par exemple pour les gisements, G ou V (elle a adopté G), pour les altitudes, h ou H ou Z ou z (elle a adopté Z et Z', z réservés aux angles zénithaux).

— Il ne peut être question de réaliser un système dans lequel un symbole n'est utilisé qu'une fois ; la Commission a admis qu'un même symbole pouvait être utilisé dans des chapitres bien distincts, lorsqu'il n'y a pas de confusion possible.

Exemple est utilisé pour la mesure des angles azimutaux et aussi pour l'ascension droite d'un astre. Mais on a les variantes Az pour l'angle azimutal et AR pour l'ascension droite.

Autre exemple, C est le centre de courbure d'une section normale de l'ellipsoïde et de sections nor-

males de surfaces de niveau. C désigne aussi l'angle au centre correspondant, ce qui est assez normal. Mais C désigne aussi la graduation centrale d'une nivelle.

Il ne paraît guère possible qu'il y ait confusion dans des domaines aussi distincts.

— La Commission a prévu aussi que les symboles devraient pouvoir être utilisés en informatique ; lorsqu'un symbole est constitué couramment par une lettre grecque, on a conservé cet usage, mais on a prévu un deuxième symbole de substitution pour l'informatique.

— Tout en affectant des symboles à des termes, la Commission a recommandé pour certains de ceux-ci telle appellation nouvelle, préférable à l'appellation traditionnelle, qui prête à confusion : exemple : angle zénithal est préférable à distance zénithale, angle nadiral est préférable à distance nadirale, gisement du méridien est préférable à convergence des méridiens, etc...

— La Commission a eu le souci d'explicitier la signification des symboles proposés par des figures et des formules, notamment en ce qui concerne les distances.

A ce sujet, elle préconise un système cohérent de désignations et symboles pour procéder aux corrections successives de réduction des longueurs.

Nous avons introduit la notion de module, multiplicateur voisin de 1, alors qu'on a l'habitude de désigner ce multiplicateur par des termes très hétérogènes : échelle locale dans un système de projection conforme ; coefficient de réduction d'échelle en projection Lambert ; coefficient d'échelle pour l'étalement d'un distancemètre.

Nous proposons respectivement : module de réduction à la projection ; module de réduction d'échelle en projection Lambert ; module d'étalement.

Cela permet de conserver le terme coefficient pour désigner la correction **relative** qui est donc un nombre petit de type :  $n \times 10^{-5}$  par exemple. Il n'est pas rationnel d'utiliser le terme coefficient tantôt pour un nombre voisin de 1, tantôt pour un nombre voisin de 0. Ces appellations devraient permettre une clarification dans les réductions de longueurs, qui restent la pierre d'achoppement des élèves.

Certains membres de la Commission ont même jugé utile de compléter le tableau de définition des différentes réductions, des modules coefficients et corrections par un exemple numérique, qui pourra être conservé ou disjoint de la liste des symboles qui paraîtra dans la norme expérimentale de l'AFNOR.

— Avant d'insérer ce tableau de symboles dans la future norme, la Commission s'est préoccupée des réactions que susciterait cette normalisation dans la profession. Aussi a-t-elle demandé au Président de l'AFT de publier dans XYZ cette présentation du travail de la Commission et de solliciter les avis des membres de l'AFT intéressés par ce problème.

Sur simple demande le secrétariat de l'AFT communiquera à toute personne intéressée la minute préparatoire du tableau "Système de symboles cohérents en topographie". Les remarques et suggestions suscitées seront les bienvenues à la Commission d'Enseignement et seront à adresser à son attention au siège de l'AFT.

# ABONNEMENT 1985

## 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) : 350 F.

Tous les membres de l'A.F.T. sont automatiquement abonnés à la revue xyz.

Les abonnements sont en principe souscrits par année civile.

Achat d'un seul numéro - même adresse que ci-dessus (sous réserve de disponibilité) : 95 F.

Tél. : (1) 354.19.21 pte 310 mardi et vendredi de 10 h à 12 h.

En cas de changement d'adresse, nous invitons nos abonnés à bien vouloir communiquer à l'adresse ci-dessus la dernière bande accompagnée de la somme de 4,00 F en timbres-poste.

# Implantation des gabarits de talutage

par Jacques COMA  
Professeur de Topographie  
à l'Institut d'Enseignement Technique  
de la Chambre de Commerce et d'Industrie du Var

Cet article, en reprenant un cours enseigné à l'Institut d'Enseignement Technique de la Chambre de Commerce et d'Industrie du Var, dans le cadre de la préparation au Brevet de Technicien Topographe, n'a pour ambition que celle de permettre aux futurs employés des entreprises de Travaux Publics d'aborder cette technique rudimentaire, mais efficace, sans perte de temps (technique qui n'est, pourtant exposée dans aucun des principaux ouvrages de la bibliographie de Topographie).

Ces gabarits en bois (lites de 3 cm × 3 cm) sont destinés à guider le travail des engins de terrassements (buteur, pelle hydraulique ou niveleuse — voir figure 1).

Ce travail d'implantation peut être fait par un opérateur accompagné d'un porte-mire.

Le matériel nécessaire est le suivant :

- un tachéomètre autoréducteur ou un niveau de chantier, préalablement réglé (car on ne pourra pas respecter l'égalité des portées qui diminueraient les erreurs systématiques de l'instrument) ou un instrument électronique de mesure des longueurs (IMEL) (bien que cet équipement soit un peu lourd pour cette opération, il peut se justifier dans le cas de profils en travers très étendus).
- une mire ou une canne équipée d'un prisme réflecteur.

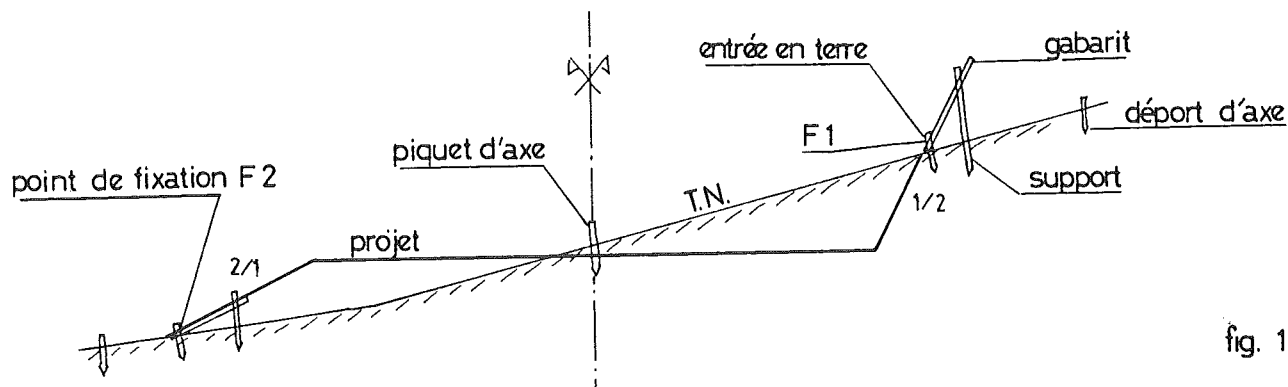


fig. 1

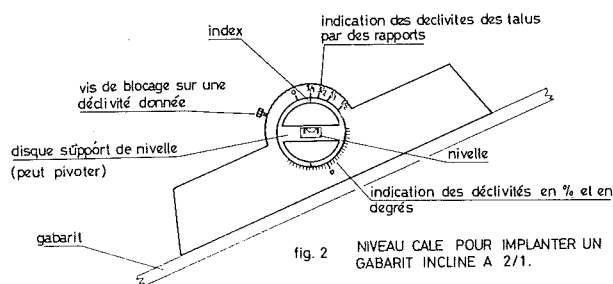


fig. 2 NIVEAU CALE POUR IMPLANTER UN GABARIT INCLINÉ A 2/1.

- un niveau de déclivité (voir figure 2).
  - une équerre optique à double prisme.
  - fil à plomb, chaîne, massette, pointes, mètre à ruban.
  - des lites ou carrelots de 3 cm × 3 cm d'environ 1 m et d'environ 30 cm (appointés).
  - de la peinture ou un marqueur à bille.
- Le personnel doit disposer des profils en travers (et du profil en long afin de corriger d'éventuelles fautes d'altitudes) préalablement dessinés et calculés.

On supposera que l'implantation des piquets d'axe du projet (et leurs piquets de repérage hors de limites de l'assiette a été effectuée.



## I — Position du problème

Cette implantation consiste à mettre en place :

- les piquets d'entrée en terre aussi appelés "Dames", puis les niveler.
- les piquets supports de gabarit environ à 50 cm des précédents.
- les gabarits en les clouant à la bonne hauteur sur les entrées en terre et en leur donnant la même pente que le talus projeté.

Les directions à respecter pour implanter ces entrées en terre peuvent être obtenues à l'équerre optique (ou à l'estime pour un opérateur entraîné), suivant la figure 4.

b) On stationne avec le tachéomètre (ou niveau ou IMEL) si possible en un point quelconque de la droite supportant le profil en travers.

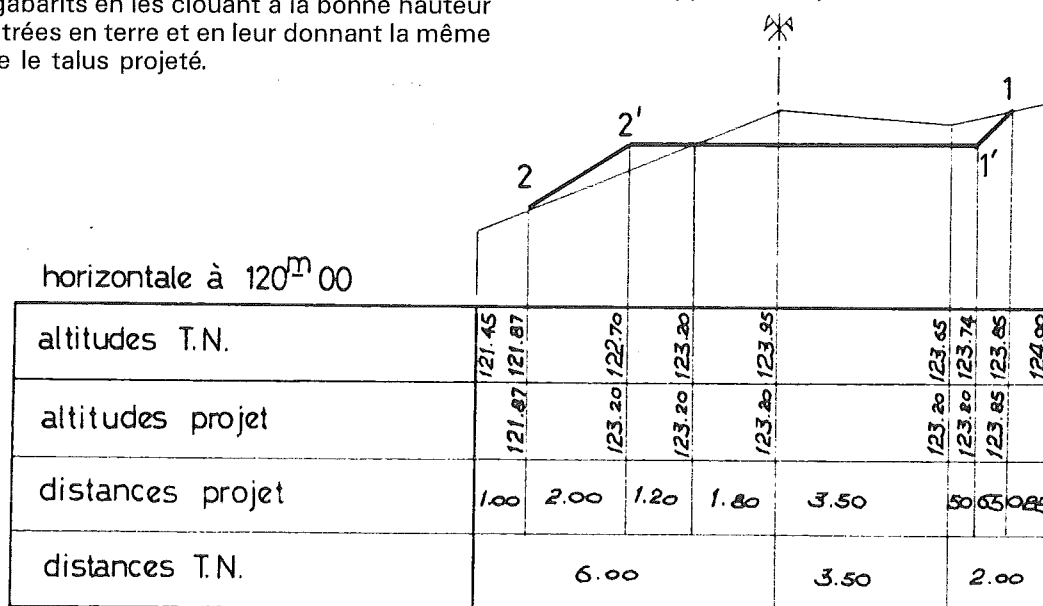


Fig. 3

## II — Pratique de l'implantation

Les valeurs numériques citées en exemple sont issues de la figure 3.

a) On plante l'entrée en terre à la distance lue sur le profil en travers (4,65 m et 5 m) augmentée de 10 cm pour un talus en déblai et diminuée de 10 cm pour un talus en remblai, ceci afin d'éviter que le gabarit vienne buter sur le terrain naturel au moment de la mise en place. Des piquets seront ici plantés à (4,75 m et 4,90 m) l'axe.

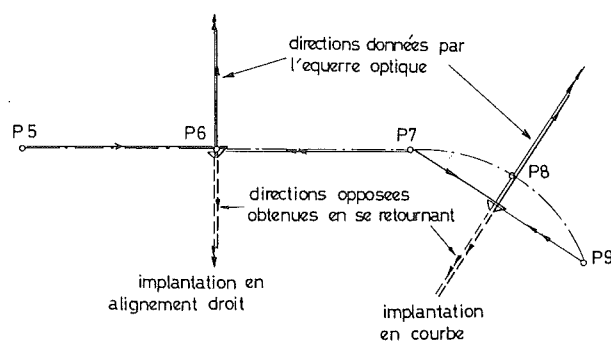


fig 4 - VUE EN PLAN -

On détermine l'altitude des tourillons (cote bleue) de l'appareil en station, en visant la mire (ou canne) placée sur le piquet d'axe préalablement nivelé qui sert de repère (à défaut viser le repère de nivellement le plus proche).

On a :

— avec un tachéomètre autoréducteur  
 $ZT = Z_{axe} + L_{mire} - \Delta H$  ( $\Delta H$  dénivelée obtenue par différence des lectures stadimétriques — respecter son signe).

— avec un niveau

$$ZT = Z_{axe} + L_{mire}$$

— avec un Imel

$$ZT = Z_{axe} + H_p - D_p \cdot \cos z$$

ou

$$ZT = Z_{axe} + H_p - D_h \cdot \cot g z$$

Avec  $D_p$  : distance suivant la pente.

$D_h$  : distance réduite à l'horizontale.

$z$  : distance zénithale (angle vertical).

$H_p$  : hauteur prisme réflecteur au-dessus du sol.

c) On détermine l'altitude du piquet d'entrée en terre en visant une mire (ou canne) posée dessus. On obtient :

— avec un tachéomètre autoréducteur

$$Z_E = Z_T - L_{mire} + \Delta H$$

— avec un niveau

$$Z_E = Z_T - L_{mire}$$

— avec Imel

$$Z_E = Z_T - H_P + D_p \cdot \cos z$$

ou

$$Z_E = Z_T - H_P + D_h \cdot \cot g z$$

L'altitude  $Z_E$  obtenue sur la tête du piquet d'entrée en terre est ensuite comparée à l'altitude projet du profil en travers (figure 3) augmentée de la dénivelée correspondant au décalage de 10 cm vers l'avant ou l'arrière indiqué au § 2 - a.

On doit avoir (figure 1 et figure 3).

#### • Pour le talus en déblai

$$Z_{F1} = Z_1 + (0,1 \times 2) \text{ pour un talus à } 1/2$$

— Si  $Z_E > Z_{F1}$  on fait une marque à  $d = Z_E - Z_{F1}$  sous la tête de piquet.

Cette marque servira de repère pour clouer le bas du gabarit.

— Si  $Z_E < Z_{F1}$  on arrache le piquet d'entrée en terre et on le replante plus près de l'axe, puis on reprend les opérations de § 2 - C ou bien voir remarque.

#### • Pour le talus en remblai

$$Z_{F2} = Z_2 + (0,1 \times 0,5) \text{ pour un talus à } 2/1$$

— Si  $Z_E > Z_{F2}$  marque comme ci-dessus

— Si  $Z_E < Z_{F2}$  arracher le piquet, le replanter plus loin de l'axe, reprendre en 2 - C ou voir remarque 1.

d) on plante les supports de gabarits environ à 50 cm vers l'axe pour le talus en remblai, en s'éloignant

de l'axe pour le talus en déblai. Ces supports peuvent être légèrement inclinés.

e) On présente le gabarit sous la marque du piquet d'entrée en terre (figure 5), on le tient d'une

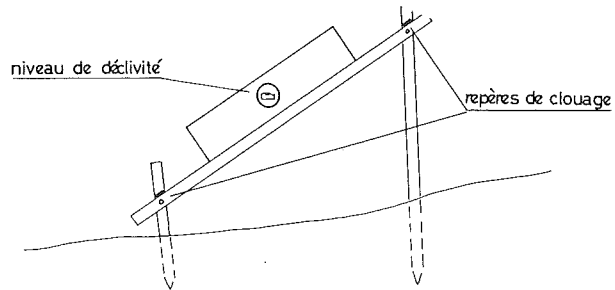


fig 5

main, tout en maintenant le niveau de déclivité réglé sur le gabarit, fait pivoter l'ensemble pour amener la bulle entre ses repères.

On marque des repères sur le support d'une part, sur le gabarit d'autre part. Ces derniers servent à placer les pointes de fixation en attente.

On fixe ensuite le gabarit à l'entrée en terre et au support par clouage en faisant contre-coup avec une deuxième massette par exemple.

On contrôle au niveau de déclivité, la bonne inclinaison du gabarit.

f) On indique sur le gabarit, de façon très lisible, au marqueur, la distance suivant la pente entre pied de talus et haut de talus (1 - 1' ; 2 - 2' — voir figure 3).

### Remarque

La recherche d'une position correcte pour le piquet d'entrée en terre par tâtonnement (rapprochement ou éloignement de l'axe, comme il vient d'être dit) est satisfaisante pour un terrain naturel en pente faible).

Par contre, si le terrain naturel est pentu ou s'il y a une faute dans le TN du profil en travers, il peut être préférable de refaire un levé et un report succincts du TN d'y appliquer le projet donné et de kutter ou calculer les intersections du TN et du projet par les formules habituelles qui font intervenir les pentes :

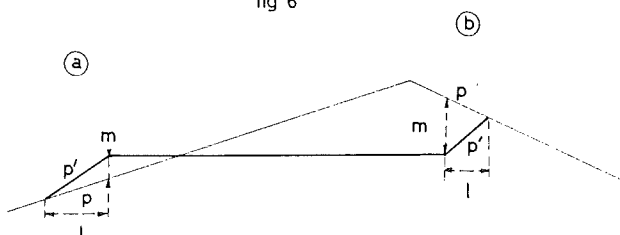
• Pour un TN et un projet ayant des pentes de même signe (figure 6a) :

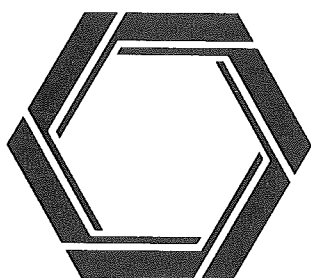
$$1 = \frac{m}{p - p'}$$

• Pour un TN et un projet ayant des pentes de signes contraires (figure 6b) :

$$1 = \frac{m}{p + p'}$$

fig 6





**AERIAL**

*PRISES DE VUES AERIENNES  
pour la photogrammétrie,  
la photo-interprétation,  
les études,  
l'information...*

*PHOTOTHEQUE*

Z.I. D'AIX-EN-PROVENCE  
13763 LES MILLES CEDEX  
Tél. (42) 60.05.45  
Télex Aéromap 401 140 F

*REPROGRAPHIE DE PRECISION  
pour la cartographie,  
le dessin,  
les arts graphiques...*

## Répertoire des Annonceurs

AERIAL.....	58
AGA GEOTRONICS.....	II cv
BLANCHET-LOCATOP.....	48
LA BORNE HILARE.....	52
KERN-THORMANN.....	43
LART.....	42
MESURES ET SYSTEMES.....	15
SERNAM.....	30
SLOM.....	60
THOMAS.....	59
TOPO CENTER.....	IV cv
WILD.....	1,2,3,III cv
ZEISS IENA-COMPAGNIE-GENERALE DE PHYSIQUE.....	44