

xyz Association Française de Topographie

XVII^e COLLOQUE

A
F
T

métrologie
géodésique
et
photogrammétrie

CERN
(deuxième partie)





Le TGV pour les jeux olympiques d'hiver - transporteur national officiel.

TRIMESTRIEL : Le numéro 120 F
Abonnement d'un an :
France - Europe (voie terrestre) 450 F
Etranger
(par avion, frais compris) 470 F
Secrétariat de l'AFT
et Rédaction XYZ

**136 bis, rue de Grenelle,
75700 PARIS**
Tél. : (1) 43.98.80.00
poste 7690

Ouverts les mardi et vendredi
de 10 h à 12 h

COMITE DE REDACTION RAPPEUR

André BAILLY
Ingénieur ETP

MEMBRES

Jean COMBE
Ingénieur ESGT
Guy DUCHER
Ingénieur Général Géographe
Jean-Jacques LEVALLOIS
Ingénieur Général Géographe
Jean PUYCOUYOUL
Ingénieur E.P.
Michel SAUTREAU
Directeur divisionnaire honoraire
du Cadastre
Roger SCHAFFNER
Géomètre DPLG
Bernard SCHRUMPF
Ingénieur Général
de l'Armement
Robert VINCENT
Ingénieur E.C.P.

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

André BAILLY

IMPRIMERIE MODERNE

USHA
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.

XYZ

sommaire

— METROLOGIE GEODESIQUE ET PHOTOGRAMMETRIQUE

XVII^e colloque de l'AFT. Compte rendu (1^{re} partie parue dans le N° 49).

- Allocutions d'ouverture et salutations
par André BAILLY, Théophile ENGEL, Robin WATERS,
Joseph FRUND, Günther NAGEL
- Métrologie géodésique des grands accélérateurs de particules
par Jean GERVAISE
- Piste combinée de bobsleigh et de luge de la Plagne
Métrologie temps réel, appliquée au génie civil
par M. CHAZALET
- La topométrie dans le remplacement de générateurs de vapeur, dans les centrales nucléaires à eau pressurisée
par Alain MARTIN, Serge LACHAISE, Max COURTOIS
- La mesure tridimensionnelle par méthodes optiques
par Anne LEGAC, Arnaud DUMONT
- Application de la photogrammétrie dans l'industrie aéronautique
par Xavier SOUDAN
- Nouvelles méthodologies de mesures en recherche gravitationnelle
par H. ANNONI, F. ROUMILI

— 2 ^e partie	
— EDITORIAL - par Louis LEPRINCE-RINGUET	5
— METROLOGIE GEODESIQUE ET PHOTOGRAMMETRIQUE	
• Métrologie géodésique des grands accélérateurs de particules par Michel MAYOUD	7
• Implantation de la piste combinée de bobsleigh et de luge de Mâcot-la-Plagne par Jean-Philippe FLEURANTIN	13
• Transports et circulation pendant les jeux olympiques	18
• Real time geometry the hydrostatique Levelling System par Daniel ROUX	20
(la version française paraîtra dans le N° 51 - avril 92)	
• Métrologie pour un grand collisionneur linéaire par William COOSEMANS	26
• Les outils de contrôle des grandes structures complexes par Jean-François SAGEAU et Hervé LANÇON	33
• Considérations sur les applications et la précision du système photogrammétrique en temps réel MNS par Alf PETTERSEN	43
• Etude micro-géodésique de structures souterraines dans l'argile à grande profondeur par J.-J. DERWAELE	49
• Développements récents en photogrammétrie numérique rapprochée par Armin GRÜN	(à lire dans le N° 51 - avril 92)
• Les participants visitent le CERN	57
— RENCONTRE AFT DE CACHAN	60
— LES EVENEMENTS - LES HOMMES	
• Elections à l'UGGI et à l'AIG par Jean-Jacques LEVALLOIS	61
• Informations AFT - Brèves	65
• Les bornes IGN de l'aventure et l'ESPACE IGN	68
— L'ART - LES LIVRES	
Les expositions de l'Academia dei Lincei (Raymond d'Hollander) et Giacometti (Jack Biquand) - Des livres	70
— L'ART DE VIVRE	
• Il y a Rhum et Rhum par Solange CONTOUR	75
• Les bonnes recettes d'XYZ - par Anita SAUTREAU	79
— CAUSERIE TOPOGRAPHIQUE - Défense et illustration de la cotangente par Robert VINCENT	80
— RECREATIONS MATHÉMATIQUES par Michel SAUTREAU	88
— REPERTOIRE DES ANNONCEURS	17
— LEXIQUE TOPOGRAPHIQUE - Chapitre 3 (de 3.5 à 3.8)	(encarté)

Certains partent à l'aventure.
D'autres en PATROL.



* Prix du PATROL 4 cyl. 2.8 L Mod. prés. (PATROL 2.8 L 5 places : 136 200 F. Prix au 06/02/91. A.M. 91 GUÉRIN DE ROSNAY.

à partir de 115.000 F*

Difficile de parler du PATROL ! Doit-on parler de la légende qui gagne ? D'un concept unique qui a su évoluer avec des suspensions et une boîte de transfert modifiées ? De la gamme PATROL : 2, 5 ou 7 places ; 4 cylindres ou 6 cylindres ; atmo ou turbo Diesel ? Difficile en effet ! Mais ce sont là les seules questions que vous vous poserez avec votre PATROL. Car une fois à l'intérieur, vous serez tout à la satisfaction d'un habitacle luxueux : direction assistée, condamnation centrale des portes, lève-vitre électriques, ...

RICHARD-NISSAN TÉL. (1) 30 69 25 00
Un réseau de 340 concessionnaires et agents



NISSAN avec antar

NISSAN financement

Des voitures construites pour l'Europe.

100.000 KM

Bonne Année !

**LE PRÉSIDENT, LE BUREAU, LE CONSEIL DE L'AFT
VOUS PRÉSENTENT
LEURS MEILLEURS VŒUX POUR 1992.**

L'ANNUAIRE AFT 1992 VA PARAÎTRE EN FÉVRIER

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

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

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

Distribué gratuitement aux membres de l'association, il est en vente au prix de 450,00 Frs au siège social de l'AFT, 136 bis, rue de Grenelle, 75700 Paris. Tél. : 43 98 80 00 poste 76 90.

COMMISSION D'ENSEIGNEMENT DE L'AFT LEXIQUE TOPOGRAPHIQUE - CHAPITRE 3

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

Sous la même forme nous vous présentons aujourd'hui le chapitre 3 : Mesures des angles horizontaux (3,5 à 3,8).

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

PLAN GÉNÉRAL DE L'OUVRAGE :

- Généralités
- Mesures des longueurs
- Mesure des angles horizontaux
- Mesure des altitudes
- Canevas
- Cadastre et travaux fonciers
- Levé tachéométrique
- Levé ; planchette
- Implantations
- Calculs
- Représentation cartographique
- Photogrammétrie

XVII^e COLLOQUE A.F.T. (2^e partie)



Dans le LEP du CERN.

Photo CERN

Le colloque se tenait à Genève sous la présidence du Docteur GÜNTHER PLASS, Directeur des accélérateurs Laboratoire Européen pour la Physique des Particules. CERN - Genève.

EDITORIAL



Louis Leprince-Ringuet, membre de l'Académie des Sciences, membre de l'Académie Française

J'ai été très heureux de recevoir de votre Président, André Bailly, une lettre m'indiquant le lieu de votre congrès, à savoir le CERN. Je le connais fort bien car, depuis le début des années cinquante, il a constitué pour moi l'essentiel de mes motivations scientifiques. C'est au CERN que sont venues travailler mes équipes de jeunes physiciens et de techniciens des deux laboratoires dont j'avais la responsabilité, à l'Ecole Polytechnique et au Collège de France (chaire de physique nucléaire, après le décès de Frédéric Joliot en 1957). Ces équipes, avec Bernard Grégory (qui devint directeur général du CERN de 1965 à 1970), André Lagarrigue, Raphaël Armenteros, Charles Peyrou, Francis Muller, André Rousset, Paul Musset et bien d'autres, ont consacré toutes leurs motivations au CERN. Je fus le président du Comité des directives scientifiques autour de 1965 alors que, après le grand succès du premier accélérateur, on lançait le projet des «anneaux de collision» et du supersynchrotron de six kilomètres de circonférence.

Le docteur Günther Plass, directeur des accélérateurs du CERN, a remarquablement expliqué le rôle fondamental de la topographie la plus raffinée, la plus précise, dans la réalisation de ces tubes circulaires qui atteignent aujourd'hui vingt-sept kilomètres et à l'intérieur desquels les faisceaux de particules, accélérées à chaque tour, doivent faire en quelques secondes plusieurs centaines de milliers de kilomètres (plus de dix fois le tour de la terre) à une vitesse proche de celle de la lumière, donc de peu inférieure à 300 000 kilomètres par seconde - et tout le faisceau, constitué par des milliards de protons ou d'élec-

trons, doit ainsi circuler à l'intérieur du tube sans en toucher les parois. C'est inouï.

Mais vous me donnez l'occasion de dire quelques mots de l'aventure extraordinaire du CERN. Après la guerre, la quasi totalité des grands physiciens européens (Fermi, Bohr, Einstein, Weisskopf, Teller, Segré, Rossi, etc ...) se trouvaient aux Etats-Unis et au Canada, ayant participé à l'effort de guerre, avec Fermi pour la pile atomique, avec Oppenheimer pour la bombe. En Europe, nous avions d'abord à reconstruire, et notre potentiel scientifique était extrêmement réduit. Alors nous décidâmes de nous unir, entre vainqueurs et vaincus, associant les physiciens de treize pays d'Europe occidentale, pour essayer de réaliser un grand centre de recherches, avec la construction d'un accélérateur d'un kilomètre de tour, immense pour l'époque. Au début des années cinquante, le site de Meyrin, à la frontière franco-suisse, fut choisi. Nous n'avions pas -et de loin- la compétence des Américains, mais nous possédions une motivation extrême et une volonté d'aboutir, malgré les problèmes techniques dont la résolution semblait presque impossible. Les trois projets, américain, européen, soviétique, furent lancés presque en même temps. Et nous avons gagné : les Européens furent les premiers, six mois avant les Américains, et bien avant les Soviétiques (dont le synchrophasotron, trop lourd, ne fut pas une réussite exceptionnelle), à voir le faisceau de protons circuler dans le synchrotron d'un kilomètre de circonférence.

Ainsi, en travaillant ensemble entre Européens du Nord et du Sud, anglosaxons, germanophones, méditerranéens, nous pouvions être les premiers au monde en haute technologie. Et, dans cet ensemble supranational, chaque groupe garde sa personnalité ; les grands Suédois blonds gardent leur tempérament, les Anglais restent très «dignified», les Allemands sérieux et travailleurs, les Français discutent, les Italiens ne perdent rien de leur charme latin. Le CERN fut la première réussite européenne, c'est grâce au CERN que ma fibre européenne s'est développée de façon décisive. Il faut absolument faire l'Europe scientifique, technique, industrielle (Ariane, Airbus sont de bons exemples), il faut la dimension de notre continent, il faut l'union politique et naturellement monétaire, pour être un phare de liberté, de démocratie, une lumière pour notre monde aux secousses inquiétantes.



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

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

ETS DIEUTEGARD

LA FILLE DU PIRATE

Tél. 42.93.42.01

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

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

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

MÉTROLOGIE GÉODÉSIQUE DES GRANDS ACCÉLÉRATEURS DE PARTICULES (SUITE)

Michel Mayoud, Chef du Groupe de Géodésie Appliquée du CERN

I - INTRODUCTION

Cet article fait suite à celui de Jean Gervaise, paru dans le numéro précédent. Mon intervention, lors du colloque, avait un caractère très général et décrivait succinctement les instruments et méthodes mis en oeuvre au CERN - en guise de présentation de nos activités et de nos développements spécifiques. Cela est déjà largement décrit dans la littérature professionnelle (cf. articles de J. Gervaise et communications diverses de C. Lasseur, J. P. Quesnel et/ou de l'auteur), et je ne crois pas utile de refaire ici un nouveau «panoramique».

Mon propos sera surtout de faire quelques mises à jour sur l'évolution des techniques propres à notre domaine d'application, en explicitant des aspects nouveaux ou en détaillant des concepts qui peuvent avoir un intérêt particulier, applicable à la métrologie des grands objets en général. Cela n'aura d'aucune manière la prétention d'être exhaustif et d'autres articles pourront revenir sur l'application au CERN de telle ou telle technique de mesure, d'étalonnage ou de traitement de données.

II - MÉTROLOGIE DES MACHINES

L'évolution vers des dimensions de plus en plus gigantesques (SPS : 7 km, LEP : 27 km) amène à considérer beaucoup plus rigoureusement deux aspects théoriques - et méthodologiques - de la géométrie de l'objet :

- sa définition dans un référentiel local qui n'est pas, par essence, cartésien;
- les déformations résultant des aléas de la mesure, ce qui conduit à distinguer les erreurs absolues (sur l'emprise totale) et les erreurs relatives (locales, de proche en proche) - avec leurs effets fonctionnels et les seuils de tolérance qui en résultent.

Sur le premier point, qui peut paraître évident, on oublie trop vite que la terre est ronde, que la plupart des instruments se réfèrent à la verticale locale et que la haute précision ne permet plus des approximations sommaires sur les modèles mathématiques de traitement des observations (cf. chapitre IV).

Concernant les erreurs absolues et relatives, on se doit de rester très vigilant sur leur expression et leurs corrélations - ce qui permet éventuellement de conclure que ce n'est pas l'objet qui est flexible, mais sa détermination. Un objet stable et indéformable est descriptible par une infinité de coordonnées différentes (cf. chapitre V), pour autant que ces coordonnées restent dans l'enveloppe statistique des erreurs affectant sa mesure et son calcul, laquelle peut se dériver de la matrice variance-covariance du traitement des observations dans un modèle stochastique approprié. Mais tout n'est pas «visible» dans une telle analyse, et on n'insistera jamais trop sur l'utilité de vrais simulations, du type «Monte-Carlo» dans une méthode dite de «perturbations contrôlées» (cf. chapitre VI), ou dans la confection de modèles appropriés dans lesquels s'introduisent des tenseurs de déformation supposée.

Outre ces deux points fondamentaux, tout le reste n'est qu'affaire de technologie, de rentabilité et de fiabilité. La mise en place de plus de 5000 éléments dans un planning très serré nous a conduits à informatiser les instruments et les procédures de mesure ou d'installation. Même si cela crée des problèmes d'une autre nature (câbles, batteries, connecteurs, ordinateurs, etc.), c'est très certainement un progrès. L'intérêt intellectuel y est très grand au stade de la conception et de la mise au point des instruments et méthodes. L'usage intensif de tels outils devient par contre assez frustrant pour les ingénieurs et techniciens chargés du travail de terrain. Le bilan en est positif que si la rapidité et l'intensité de la tâche finissent par en vaincre la monotonie.

III - MÉTROLOGIE DES EXPÉRIENCES

Là encore, les objets à mesurer, assembler et mettre en place sont devenus monstrueux, avec des conditions et des exigences de plus en plus sévères. Cela peut se résumer par les caractéristiques suivantes :

- couramment 1000 m³ et 10000 tonnes d'équipements;
- structure complexe, à couches concentriques;
- précisions submillimétriques requises (0.1 à 0.5 mm);
- montage et positionnement en espaces confinés (cavernes souterraines) avec une propension

Photo 1 : Installation d'un quadripôle du LEP, sous contrôle informatique



naturelle - comme les gaz - à occuper tout le volume offert !

Les techniques mises en oeuvre pour ces travaux relèvent essentiellement de la micro-géodésie tridimensionnelle, «agrémentée» de facilités résultant de développements propres :

- mesures de distances spatiales à ou *sur* l'objet, y compris distances verticales (dénivelées) ;
- mesures d'écart à un alignement *sur* l'objet, la ligne de référence pouvant être quelconque dans l'espace ;
- mesures d'écart à un plan vertical (visée théodolite) pour «récupérer» les points cachés, ou à une verticale (lunette nadirale ou zénithale) ;
- visées «obliques» par usage d'un pentaprisme.

Cela nous a conduit à enrichir constamment le programme LGC (Logiciel Général de Compensation) destiné au traitement des observations spatiales de toute nature pouvant renforcer la détermination des points de l'objet. D'autres développements à ce programme ont également permis d'affiner l'analyse stochastique des résultats, la détection des erreurs, l'expression de paramètres statistiques (fiabilité interne ou externe) qui complètent utilement l'appréciation de l'ingénieur sur la validité de son travail.

IV - MODÈLES MATHÉMATIQUES DE CALCUL

IV.1 Modèles locaux séparatifs (2D+H)

Pour la plupart des applications, l'altimétrie peut être traitée sans considération théorique particulière. Mais, pour certains objets spécifiques, où la géométrie absolue est précisément recherchée, il ne faudra pas oublier la sphéricité terrestre - dont les effets sont vite mesurables : 0.78 mm à 100 m, 0.20 mm à 50 m...

La planimétrie est souvent traitée sans autre considération, en développement sur le plan tangent à l'origine du système local, où a est l'image du point A par simple report orthogonal de sa hauteur.

Si l'on explicite ce système, on s'aperçoit que cette représentation serait vite entachée de distorsions si elle est étendue et qu'elle ne répond pas à une loi géométrique simple. Cette méthode - ou plutôt cette absence de méthode ! - est utilisée pour des levés locaux, où une grande précision n'est pas recherchée. Mais, là encore, il faut rester vigilant sur le fait que les distances ne sont pas réduites au même niveau de référence (E).

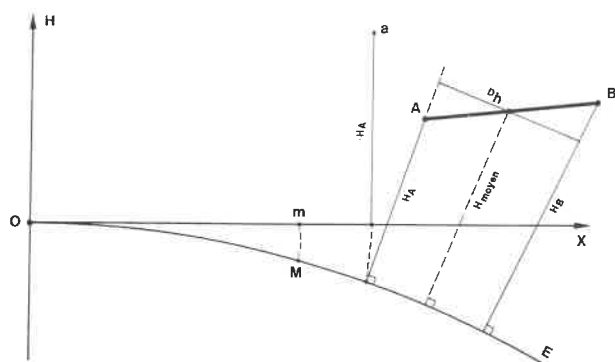
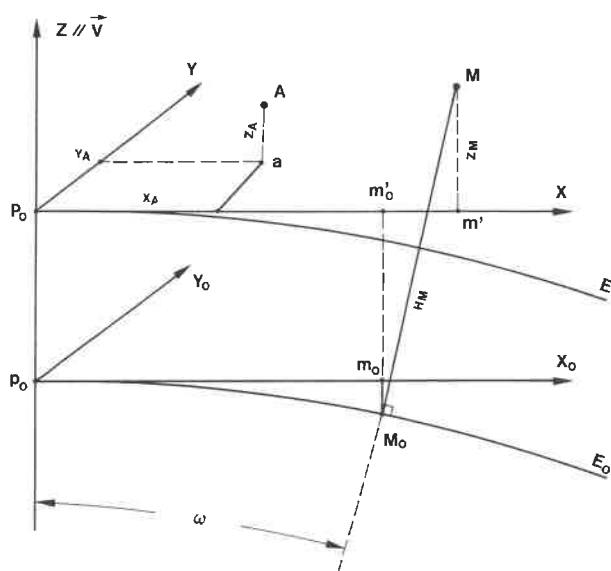


Figure 2 : Développement sur un plan tangent

Or, pour H moyen = 10 m, l'effet de cette réduction est déjà de $1.6 \cdot 10^{-6}$. Avec des instruments de haute précision, cette négligence devient coupable. Donc, au minimum, il faut ramener les mesures de longueur à un même niveau, arbitrairement choisi.

Une manière plus rigoureuse de procéder fait appel à la projection orthographique, qui ramène les données à un authentique système cartésien local.

Figure 3



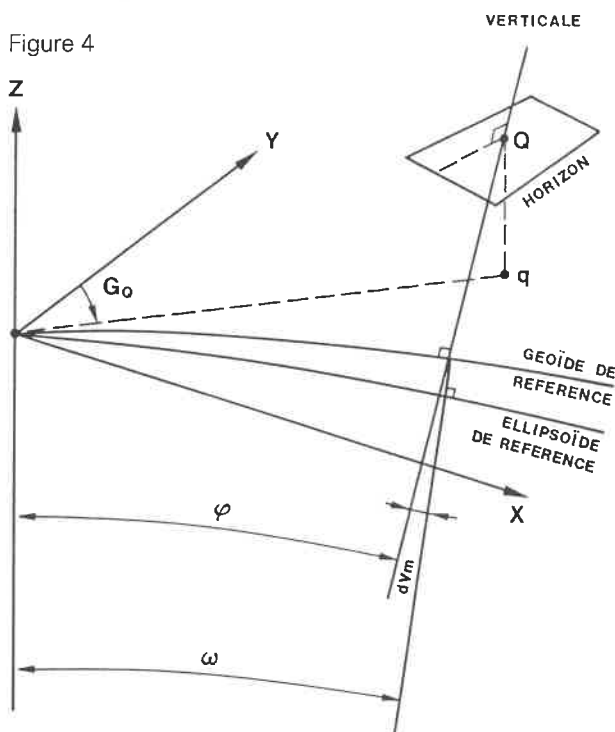
Les points sur une même verticale n'ayant plus les mêmes coordonnées, il faut développer les formules qui permettent de ramener les observations au niveau 0, puis au plan de projection (X_0, Y_0), compenser dans ce plan et revenir enfin au niveau vrai de chaque point pour exprimer ses coordonnées cartésiennes. Ce système est quasi-conforme jusqu'à 15 km.

IV.2. Modèle tridimensionnel local

Le traitement dans un modèle local séparatif fait perdre le bénéfice de la corrélation entre la planimétrie et l'altimétrie : chacun sait qu'une mauvaise intersection plane peut être améliorée par la contrainte altimétrique si celle-ci est exprimée simultanément.

La recherche de solutions rigoureuses et optimales conduit donc à formuler la compensation dans un modèle tridimensionnel. Pour de petits objets, on peut ignorer la courbure terrestre et la réfraction. Mais, moyennant un effort initial, il est préférable de concevoir un programme plus universel. Dans des cas extrêmes (CERN), il faut même inclure le géoïde local dans le modèle mathématique.

Figure 4



Hormis pour les distances, il faut alors exprimer que les mesures se réfèrent à la verticale du lieu d'observation et qu'elles se formulent donc dans l'horizon géographique de la station.

On passera du référentiel d'observation au référentiel de calcul par une matrice orthogonale de rotation R , fonction des paramètres (j, G) du lieu :

$$\begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix} = R \cdot \begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{pmatrix}$$

C'étant la matrice des coefficients, les relations d'observations seront de la forme :

$$\text{R.C} \begin{pmatrix} d\Delta x \\ d\Delta y \\ d\Delta z \end{pmatrix} + \text{compensé} - \text{observé} = v_i$$

Le volume de référence sera une sphère (champ étroit) ou - mieux - un ellipsoïde. Si le géoïde est introduit dans le modèle, apparaissent alors les déviations de la verticale dV , exprimées dans le méridien du système :

$$\varphi = \omega + dV_G$$

Dans le concept général du 3D, la planimétrie et l'altimétrie deviennent des cas particuliers, qui peuvent toujours être traités isolément. Pour un calcul planimétrique (X,Y), cela revient à contraindre le point sur son horizon géodésique (hauteur ellipsoïdale $H_e = \text{constante}$) en «actualisant» à chaque itération le Z résultant. Pour un calcul altimétrique H (hauteur géoïdale), les coordonnées planimétriques X, Y n'ont plus aucune importance. On peut virtuellement les contraindre à l'origine (X = Y = 0) et développer la compensation le long de l'axe OZ. Si l'on voulait compenser directement les ordonnées Z, il faudrait à nouveau considérer la position des points en tenant compte de leur angle géocentrique :

$$\Delta Z_i = \Delta H_i \cos \omega_i$$

V - ANALYSE ET TRAITEMENT DES FIGURES FLEXIBLES

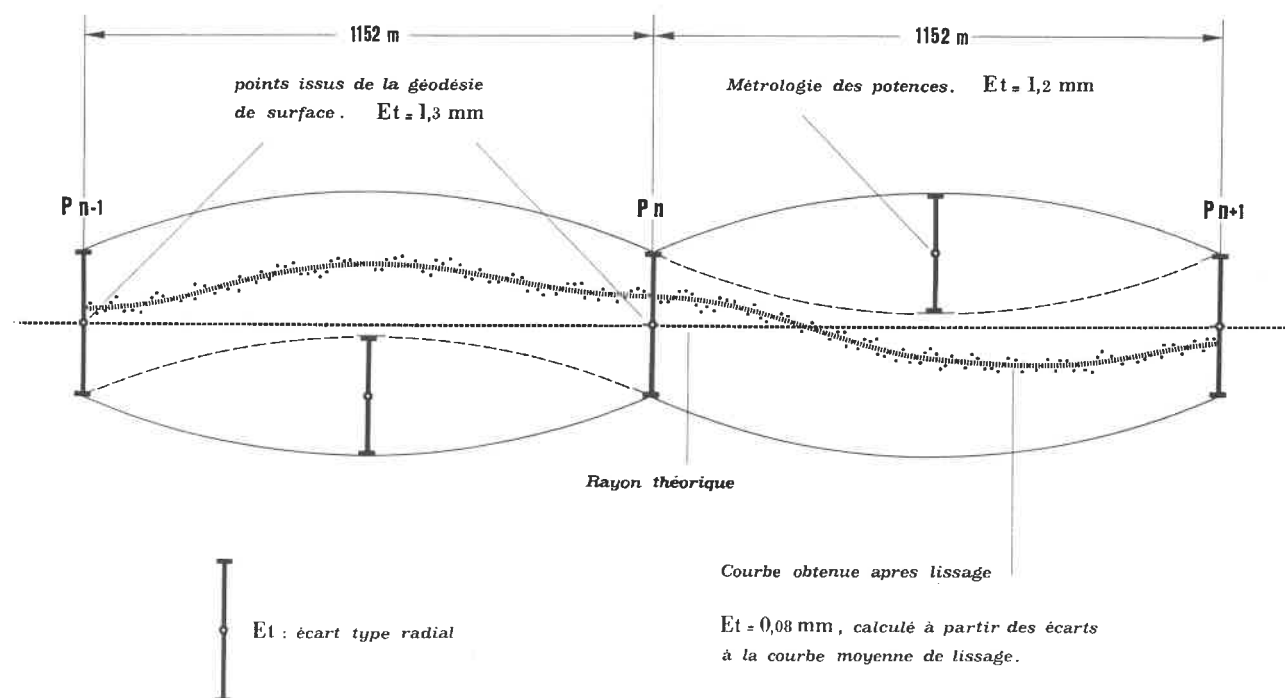
Dans le cas de figures déformables, des mesures absolues, de qualité comparable, donnent des écarts de détermination qui constituent le «bruit d'erreur» de la description géométrique de l'objet et qui n'ont aucune signification physique. C'est le cas, au CERN, des longues figures de type polygonal, calées entre des points d'extrémité très éloignés (1100 m pour le SPS, 3300 m pour le LEP).

La figure 5 illustre ce fait, en montrant l'enveloppe des erreurs radiales (ou verticales) d'une telle figure, et l'image (déformée) de sa connaissance.

Dans le cadre d'une détermination initiale, la seule hypothèse formulable est que l'objet théorique a été concrétisé. Lors de mesures successives et comparatives, on obtient des jeux de coordonnées de ce même objet, dont on exprime les différences aux coordonnées théoriques.

L'analyse et le traitement peuvent prendre des formes distinctes et complémentaires, qui visent essentiellement à éliminer la part non-significative des différences observées.

Figure 5



Un moyen bien connu consiste à paramétriser ces différences. Les polynômes en sont un moyen simple, qui comporte quelques délicatesses statistiques dans le choix du degré d'adaptation et qui peut introduire quelques contraintes et corrélations indésirables. Les fonctions Spline, plus lourdes, ont aussi les mêmes inconvénients. Une autre manière de traiter le problème est d'avoir recours à une décomposition en séries de Fourier (somme de fonctions trigonométriques) après avoir normalisé sur 2π l'espace des abscisses.

Sans dissenter davantage sur ces moyens, ils ont au moins pour vertu de décrire, en la simplifiant, l'image de la déformée que l'on doit analyser.

Initialement, ou en complément, nous pratiquons aussi une forme de traitement baptisée «lissage non paramétrique», qui fait totalement abstraction des coordonnées. Le principe en est que la courbe de *tendance* de la déformée est, statistiquement, une courbe *moyenne* qui s'inscrit dans le jeu de points qui prétendent la décrire. En appelant dR les écarts de ces points à la courbe moyenne inconnue (et qui le reste !), on résout alors le système des équations d'observation de la mesure sous la double condition $\|dR\|$ et $\|N\|$ minimum, le vecteur V étant l'ensemble des résidus de la mesure considérée. Bien qu'ayant l'avantage de ne pas (ou presque) introduire de «biais» - contraintes ou corrélations fortes - cette méthode rend néanmoins «aveugle» aux premiers degrés de déformation de la figure, d'où son emploi plus limité.

Dans tous les cas, après ce premier traitement, reste alors à détecter ce qui peut traduire un réel mouvement - par analyse statistique (et pragmatique ...) du rapport signal/bruit des points suspectés. Cela est un autre problème, considérable, que je ne me risquerai pas à traiter sommairement dans le cadre de cet article.

VI - SIMULATIONS D'UN RÉSEAU

VI.1. Justifications et buts

Quand un réseau a une configuration complexe et qu'il nécessite différents types de mesure, le simple bon sens ne peut permettre seul d'apprécier la suffisance des moyens qui doivent être mis en oeuvre pour garantir les précisions demandées.

Dans un projet de réseau métrologique, il est souvent utile de procéder à une optimisation, pour des raisons techniques et économiques. Cela se fait en simulant différentes configurations possibles et en effectuant une analyse compara-

tive des résultats. Les programmes de compensation doivent permettre ce genre d'exercice.

On peut alors se rendre compte de l'utilité - ou de l'inutilité - de telle ou telle mesure, du seuil de redondance au-delà duquel les gains en précision deviennent minimes, ou encore découvrir les parties faibles du réseau, les directions sensibles qui nécessitent une mesure de contention, les contraintes générées par un mauvais choix de points de calage, etc.

Les simulations constituent un moyen remarquable pour bien connaître le comportement stochastique du réseau étudié. On peut ainsi juger de sa sensibilité aux erreurs et se rendre compte de leurs effets. Cela est d'autant plus nécessaire que les estimateurs statistiques ne reflètent pas toujours - ou infidèlement - les «souffrances» que subit une figure géométrique mal structurée.

VI.2. Méthode des perturbations contrôlées

Au minimum, à partir des erreurs «a priori» et de la configuration, on peut construire la matrice variance des résultats :

$$V_x = \sigma^2_0 N^{-1}$$

On n'a pas cependant de vérification a posteriori que les choix ont été bons (quotients de pondération) car les ellipses d'erreurs ne sont pas un indicateur exhaustif. L'expérience montre en effet que l'on peut avoir certaines distorsions, qui apparaissent surtout dans les réseaux mal structurés (d'où une matrice mal conditionnée) et faiblement redondants.

Un moyen simple et pragmatique d'avoir une image plus complète et plus juste consiste à générer des perturbations contrôlées, que l'on introduit dans les données avant calcul normal de la compensation. On peut ainsi injecter dans le calcul des erreurs gaussiennes aléatoires, des erreurs systématiques ou des contraintes.

En répétant ces opérations, on obtient un jeu de n déterminations hypothétiques du même réseau. Ce processus est une application simple de la méthode «Monte Carlo» utilisée par les physiciens pour étudier les phénomènes aléatoires d'une manière probabiliste.

A partir des résultats de ces simulations, des statistiques empiriques permettent de contrôler la «réponse» du réseau : comparaison des coordonnées successives pour évaluer la fidélité des estimateurs (ellipses absolues et/ou relatives) ou encore pour apprécier les déformations générées

par les contraintes ou les erreurs systématiques introduites volontairement, et en juger l'effet sur les estimateurs.

Cette méthode pragmatique, étayée par des statistiques et des constatations, constitue un moyen efficace de bien connaître le comportement stochastique d'un réseau et d'en évaluer très rigoureusement la précision. Lorsqu'on ajoute à cela les divers indicateurs de fiabilité, on a enfin en main un outil complet d'étude, de calcul et d'analyse.


VII - CONCLUSION

Ces quelques descriptions, rappels ou insinuations n'ont pas été faites à titre de faire-valoir des techniques et méthodes utilisées au CERN. Même si nous sommes heureux, et fiers, de les

avoir développées, c'est surtout - et seulement - la réponse que l'on se devait de donner aux demandeurs exigeants que sont les scientifiques.

La recherche est un monde peu ordinaire, qui nous pousse sans arrêt à faire mieux que les fois précédentes. Cette stimulation permanente nous conduit régulièrement à revoir nos outils et nos méthodes, à rechercher les quelques imperfections qui, au fil des besoins et des réalisations, altèrent ce que l'on peut (encore) en espérer.

Mais cela peut nous amener à un point où d'autres techniques doivent impérativement prendre le relais. C'est ce qui nous arrive avec le projet CLIC (CERN Linear Collider), où nous entrons dans l'univers instable du micron (mètre), et cela est l'objet de la présentation faite par W. Coosemans.



service de positionnement par satellite

système (GPS)

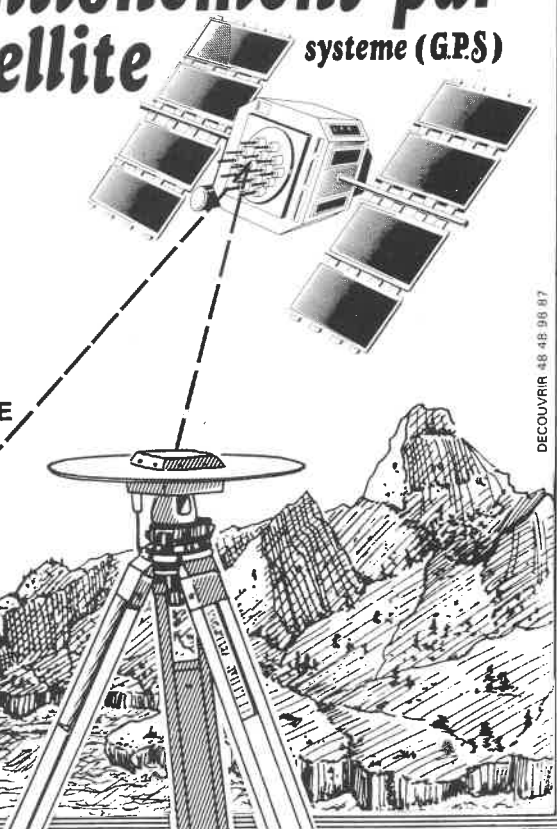
**TRIANGULATION POLYGONATION
STEREO PREPARATION
INTERVENTIONS FRANCE ET ETRANGER**

- Travaux cadastraux et remembrement
- Canevas pour levés et implantation
- Balisage de lignes (EDF...) et de pipe-line
- Micro triangulation pour ouvrages
- Points d'appui pour radio navigation
- Calage de photographies aériennes ou satellite

**PRÉCISION ACCRUE
POUR UNE MEILLEURE QUALITÉ DE TRAVAUX
GAIN DE TEMPS POUR UNE MEILLEURE RENTABILITÉ**

TopoSat
12, rue Soldat Bellon - 83400 HYERES
Téléphone : 94.65.24.78 - Fax : 94.35.37.55

CALCUL EN SYSTEME LOCAL
OU GENERAL (LAMBERT, etc...)
NE NECESSITE PAS LA VISIBILITE
ENTRE POINTS
INDEPENDANT DES CONDITIONS
ATMOSPHERIQUES
PERMET L'HOMOGENEITE DE
RESEAUX ETENDUS



DECOUVRIR 48 48 98 97

IMPLANTATION DE LA PISTE COMBINÉE DE BOBSLEIGH ET DE LUGE DE MACOT LA PLAGNE

J.Ph. Fleurantin, Géomètre expert (Géode - Bourg Saint Maurice)



Le Groupement temporaire d'Entreprise Tondella-Grosse-Borie SAE-Bianco chargé de la réalisation de la piste combinée de Bobsleigh et de Luge de Macot la Plagne confiait à Géode, en septembre 1988, une mission complète de topographie comprenant en particulier l'implantation et les métrés de tous les ouvrages.

Le site de la piste de Bobsleigh et de Luge, retenu pour des raisons plus historiques et politiques que techniques, n'était pas particulièrement adapté au projet.

Le vallon pentu et étroit de "la Roche" est un entonnoir qui a dû être modelé pour que puissent se déployer les grands rayons de giration de la piste dont la pente n'est jamais supérieure à 15%.

Les formations géologiques en place : éboulis quaternaires ainsi que grès et schistes noirs de la zone houillère, constituant une assise de roches meubles peu stables déjà affouillée par un réseau hydraulique important, ont dû être maîtrisées.

Tout ceci a rendu nécessaire la réalisation d'un grand nombre d'ouvrages : murs ancrés, terre armée, busage de ruisseaux avec ouvrages hydrauliques, micro-pieux, drains sub-horizontaux etc...

Dans ce cadre, le rôle du géomètre s'est avéré important, et la mission confiée devait mobiliser quatre personnes pendant plus de deux ans.

MISSION le challenge

Les travaux ont été définis à partir du canevas exécuté par la SETAT à la demande du Maître d'Ouvrage, le



C.O.J.O. et le Syndicat intercommunal de la Grande Plagne, et du canevas secondaire effectué par E.D.F. pour le Maître d'Ouvre, SERETE.

L'implantation des terrassements et des ouvrages de génie civil : murs ancrés, murs en terre armée, drains subhorizontaux, micro-pieux, fondations pistes, bâtiments annexes, constituait la première partie de notre mission et correspondait à de la topographie de type traditionnel dont l'exécution ne posait pas de difficulté majeure du fait de l'existence d'un canevas extérieur dense.

Le seul problème provenait de la superposition des micro-pieux non verticaux avec les tirants horizontaux de terre armée. Chaque tirant, mis en place dans un premier temps, devait être récolé de manière à ne pas être coupé lors de l'implantation des micro-pieux.

La seconde partie de notre mission, l'implantation de la piste, nécessitait au contraire la conception d'une méthode particulière adaptée aux objectifs fixés (précision et rapidité d'exécution), et à la singularité de l'objet implanté.

L'originalité de la piste de bobsleigh réside en fait dans sa structure :



Cette piste est montée sur gabarit. Il s'agit d'une coque en béton projeté et lissé, avec une armature constituée par un réseau de tubes de refroidissement pour ammoniac liquide sur lesquels sont fixés, à l'extérieur, le métal déployé, et à l'intérieur, une nappe de treillis soudé portant les tubes servant d'appui pour les règles de lissage. Cette coque est isolée à l'extérieur par du polystyrène expansé.

Sur cette piste de 1 800 mètres de long, un gabarit était prévu tous les deux mètres. 900 gabarits devaient donc être réglés avec une précision de l'ordre du millimètre, l'objectif de précision du Maître d'Ouvrage étant de 5 mm en absolu et 2 mm en relatif, dans un délai de quatre mois correspondant à la durée prévue au planning pour le montage de la coque.

CHOIX DE LA MÉTHODE ET DU MATÉRIEL POUR L'IMPLANTATION DE LA PISTE

Nous devons donc définir une méthode rapide, précise, tenant compte de l'environnement (encombrement du chantier), et pouvant fonctionner quelques soient les conditions météorologiques.

La fabrication d'un prototype grandeur réelle en décembre 1989 a permis la mise au point de cette méthode, en relation avec E.D.F. et le Groupement d'Entreprises.

Techniquement, il fallait répondre aux objectifs suivants :

- obtenir un centrage précis (0,1 mm) et rapide sur les gabarits,
- être précis à la fois dans les distances et dans les angles,
- prévoir des distances d'intervention sur les gabarits à partir de l'instrument de mesure inférieures à 30 mètres,
- offrir une technique peu onéreuse pour l'Entreprise, à la fois par les équipements mis en place et par le personnel exigé.

La précision a été obtenue en grande partie grâce au matériel choisi :

- Un théodolite WILD T 2002.

Grâce à son système de compensation pendulaire des erreurs de verticalité de l'axe principal, nous pouvions obtenir une précision angulaire de 7 dmgr, ce qui donnait à la distance maximale d'intervention une précision de 0,3 mm sur un seul tour.

- Un distomat WILD DI 2000, étalonné sur la base de métrologie du C.E.R.N.



ORGANISATION EUROPÉENNE POUR LA RECHERCHE NUCLÉAIRE
EUROPEAN ORGANIZATION FOR NUCLEAR RESEARCH
Laboratoire Européen pour la Physique des Particules
European Laboratory for Particle Physics

BASE INTERFEROMETRIQUE DU GROUPE DE GEODESIE APPLIQUEE ETALONNAGE D'UN DISTANCEMETRE ELECTRO-OPTIQUE CONSTANTE D'ADDITION ET ERREUR CYCLIQUE

Type de distancemètre : WILD DI 2000
Type de théodolite : WILD T2002
Distances d'étalonnage : de 3,5 m à 50 m
Pas d'échantillonnage : 0,25 m
Périodicité λ : 10,0870 m
Constante d'addition a_0 : - 0,000282
N.B. : La constante d'addition n'est pas modifiée par l'utilisation du prisme No 2

Coefficients de la Série de Fourier :

a (1) = - 0,000002	b (1) = 0,000012
a (2) = 0,000262	b (2) = 0,000049
a (3) = - 0,000095	b (3) = 0,000113
a (4) = 0,000071	b (4) = - 0,000103
a (5) = 0,000020	b (5) = 0,000005
a (6) = 0,000096	b (6) = 0,000021
a (7) = - 0,000037	b (7) = - 0,000027
a (8) = - 0,000153	b (8) = - 0,000167
a (9) = 0,000024	b (9) = 0,000060
a (10) = 0,000032	b (10) = - 0,000056

Formule de correction :

$$\text{correction} = -(a_0 + a_1 \sin x + b_1 \cos x + a_2 \sin 2x + b_2 \cos 2x + \dots + a_n \sin nx + b_n \cos nx)$$

où :

$$y = \text{INT}(\text{dist}/\lambda)$$

$$z = (\text{dist} - (y * \lambda))$$

$$\text{et } x = (z/\lambda) * 2\pi$$

Erreur moyenne arithmétique des écarts avant le calcul : 0,00050 m
Erreur moyen arithmétique des résidus après analyse de Fourier : 0,00012 m



Le 20 novembre 1989

M. Mayoud
Chef du groupe de Géodésie
Appliquée

Adresse pour le service post en France : CERN, Site de Palaiseau, 91191 STEN CERN
Tél. + 41 22 767 30 07 - Téléc. + 41 22 767 30 70

Fig. 1

L'étalonnage effectué par une série de mesure tous les 25 cm, de 3,5 m à 50 m, a permis d'améliorer considérablement la précision de ce type d'appareil.

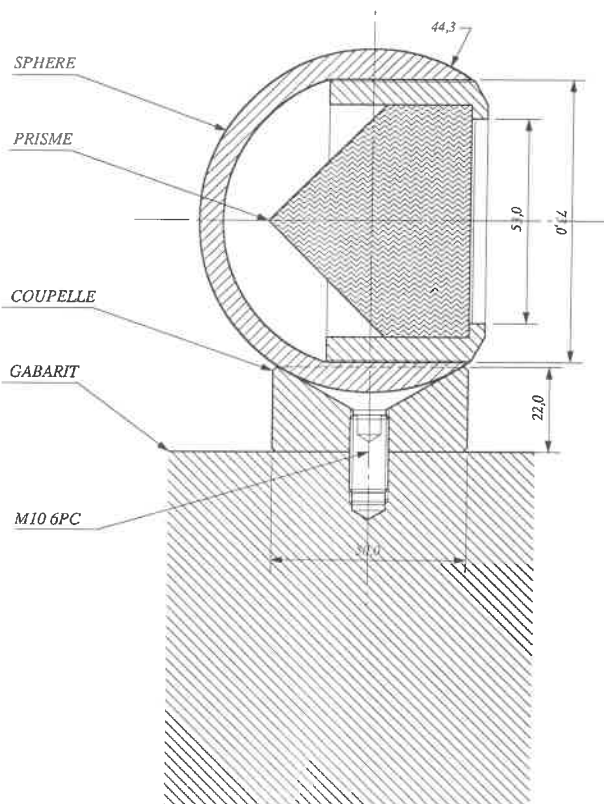
La précision donnée par le constructeur, de 1 mm, a pu être portée dans des conditions normales d'utilisation à 0,5 mm ; l'étalonnage éliminant une erreur systématique de 0,28 mm.

De plus, à l'aide des séries de Fourier, l'élimination des erreurs cycliques permettait de ramener la précision de l'appareil, dans des conditions optimales d'utilisation à 0,12 mm.

Sur le site, dans les conditions réelles d'utilisation, on a pu constater que la précision était en fait de l'ordre de 0,3 mm à la distance maximum d'intervention, soit 30 mètres.

• Pour la précision du centrage, nous avons conçu un système original constitué par des sphères sur cones en laiton que les Etablissements Baechler de Genève ont réalisées.

A l'intérieur de ces sphères, des réflecteurs étaient incorporés de manière à ce que le centre de mesure du prisme corresponde exactement au centre mécanique de la sphère, et ce, avec une précision inférieure à 0,1 mm.



SPHERE DE CENTRAGE COUPE A-A

Fig. 2

Les coupelles en laiton étaient vissées directement sur les gabarits.

Ce système présentait les avantages suivants :
• Centrage immédiat ; sans réglage.



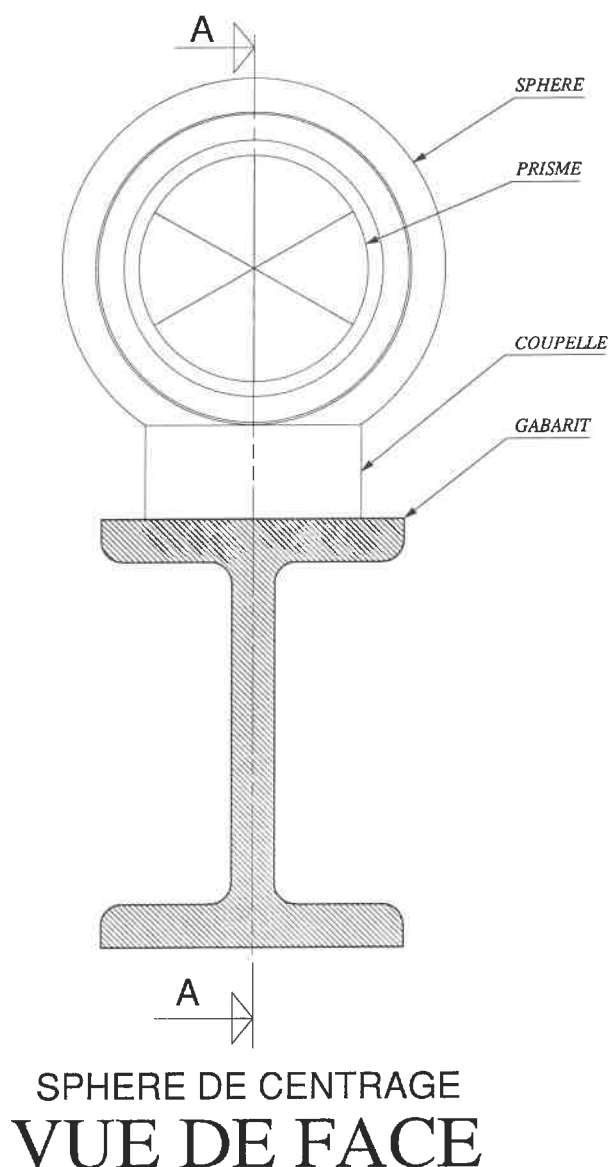


Fig. 3

• Réflecteur orientable dans toutes les directions. Avantage comportant néanmoins un défaut puisque la non coaxialité du distancemètre rendait nécessaire la prise de deux mesures. (Fig 2 et 3).

IMPLANTATION DE LA PISTE MODE D'INTERVENTION

Traitement des mesures

Les mesures étaient enregistrées sur le terrain par des terminaux constitués par des Psions Organiseurs ; et leur traitement effectué sur Macintosh à l'aide du logiciel Caltop. Les résultats étaient ensuite édités sous forme de fiches de contrôles

conformes au P.A.Q. conçues avec le logiciel Ragtime.

Méthode d'implantation

L'implantation de la piste s'effectuait en plusieurs étapes :

1) Pré-implantation de l'axe de la piste et des profils des gabarits afin de pouvoir réaliser les terrassements au droit de chaque gabarit.

2) Implantation plus fine, au moyen de clous sur chaise, des axes de gabarits, avec une précision inférieure à 1 cm qui permettait de positionner les vis de support et de poser les gabarits.

3) Réglage de la verticalité des gabarits à l'aide d'un clinomètre.

4) 1ères séries de mesures et utilisation de l'ensemble T 2002-DI 2000 : Mesure des déplacements à effectuer sur les gabarits pour les amener dans l'axe de la piste.

5) Réglage par les mécaniciens du Groupement d'Entreprises, à l'aide de comparateurs au 1/10° fixés sur les vis de réglage.

6) 2èmes séries de mesures avec T 2002 et

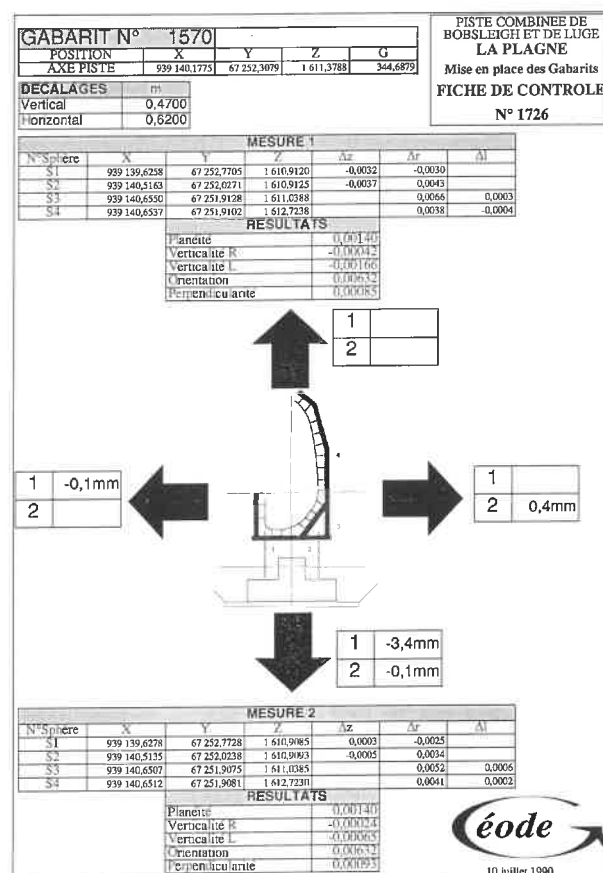


Fig. 4

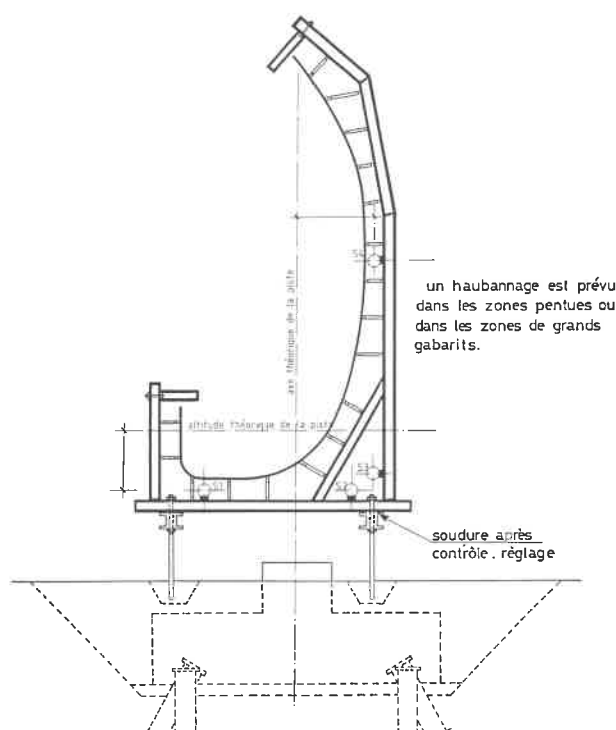


Fig. 5. Pose gabarits (phase n° 7).

DI 2000 dans le but de vérifier si le gabarit est implanté dans la précision fixée au cahier des charges. Dans l'affirmative, édition de la fiche de contrôle, dans la négative, reprise du réglage.

Matériel adapté et implantation méthodique ont permis de progresser dans les délais, avec la précision voulue, et avec le minimum de personnel (Un seul collaborateur de Géode était affecté à la mise en place des gabarits, aidé d'un mécanicien du Groupement d'Entreprises).

Tout le travail de préparation et d'analyse du départ s'est avéré payant, dans la mesure où il a largement facilité la phase de réalisation.

Le déroulement du chantier s'est donc effectué dans les meilleures conditions possibles.

Pari tenu pour Géode et le Groupement d'Entreprises : les premiers essais ont pu être réalisés en Février 1991, et ont donné satisfaction.

Il reste un an pour exécuter les travaux de finitions de manière à être prêts pour février 1992.

REPERTOIRE DES ANNONCEURS - N° 50

NISSAN	2
DIEUTEGARD	6
TOPOSAT	12
GEOTRONICS	22
LART	25
SIRAP	32
ROLLEIMETRIC	42
GEO-SAT	48
APEI	54
IETI	56
GEOID	59
SITES	66
SLOM	67
SOFT-CONSTRUCTION	71
CORALIS	82
TRANSEL	82
LE PONT	83
SETAM-INFORMATIQUE	86
MESURES ET SYSTEMES	87
AERIAL	2° CV
TOPO CENTER	3° CV
LEICA	4° CV

TRANSPORTS ET CIRCULATION PENDANT LES JEUX

Le plan de circulation des Jeux Olympiques a été conçu par l'Etat en étroites relations avec le COJO et répond à trois objectifs :

- assurer l'accès des athlètes, médias, et spectateurs dans les meilleures conditions.
- permettre aux savoyards de se déplacer et de vivre la quinzaine olympique avec un minimum de contraintes.
- organiser l'accès des vacanciers aux stations de Savoie pendant toute la durée des Jeux.

un principe : le respect de la liberté de circuler

une exception : la réglementation de la circulation sur la route terminale d'accès aux stations olympiques.

une exigence : gérer avec soins l'arrivée des vacanciers les 15 et 22 février 1992.

une obligation pour l'usager : bien s'informer avant de prendre la route.

Minitel : 3615 COJO 92 - 3615 ROUTE

Téléphone : 78.54.33.33

**Radio : RadioFrance Savoie Info 92
sur 103,9 FM**

tous les quarts d'heure pendant les jeux.

Téléphone info-bus : 79.45.19.92



POUR LES SPECTATEURS

Très important

L'accès aux sites au moment des épreuves ne sera pas autorisé aux voitures.

Un réseau JO-BUS gratuit sera mis en place

- à partir des gares SNCF d'Albertville, Moutiers, Aime et Bourg Saint Maurice.
- à partir des parkings de stationnement créés spécialement à Sainte Hélène (Albertville, 6 000 places) et à Ugine (Ugine centre ville, 1 500 places).

Pour les spectateurs ayant décidé de venir, malgré tout, en voiture, ne tenant pas compte des invitations et incitations à les faire emprunter le réseau SNCF (**Transport gratuit entre Aix-les-Bains - Chambéry et les gares SNCF des Jeux**), *il est impératif* de s'arrêter dans les parkings ci-dessus et de prendre les JO-BUS gratuits mis à leur disposition. Sinon ils seront arrêtés à Moutiers et devront faire demi-tour pour retourner à ces parkings d'où perte de temps et risque de manquer les épreuves.

LE PLAN PALOMAR - JO

En complément du plan de circulation mis en œuvre en Savoie, un plan Palomar - JO sera activé sur le réseau autoroutier et routier régional par la préfecture de la région Rhône-Alpes et par le centre régional d'information et de coordination routière de Lyon.

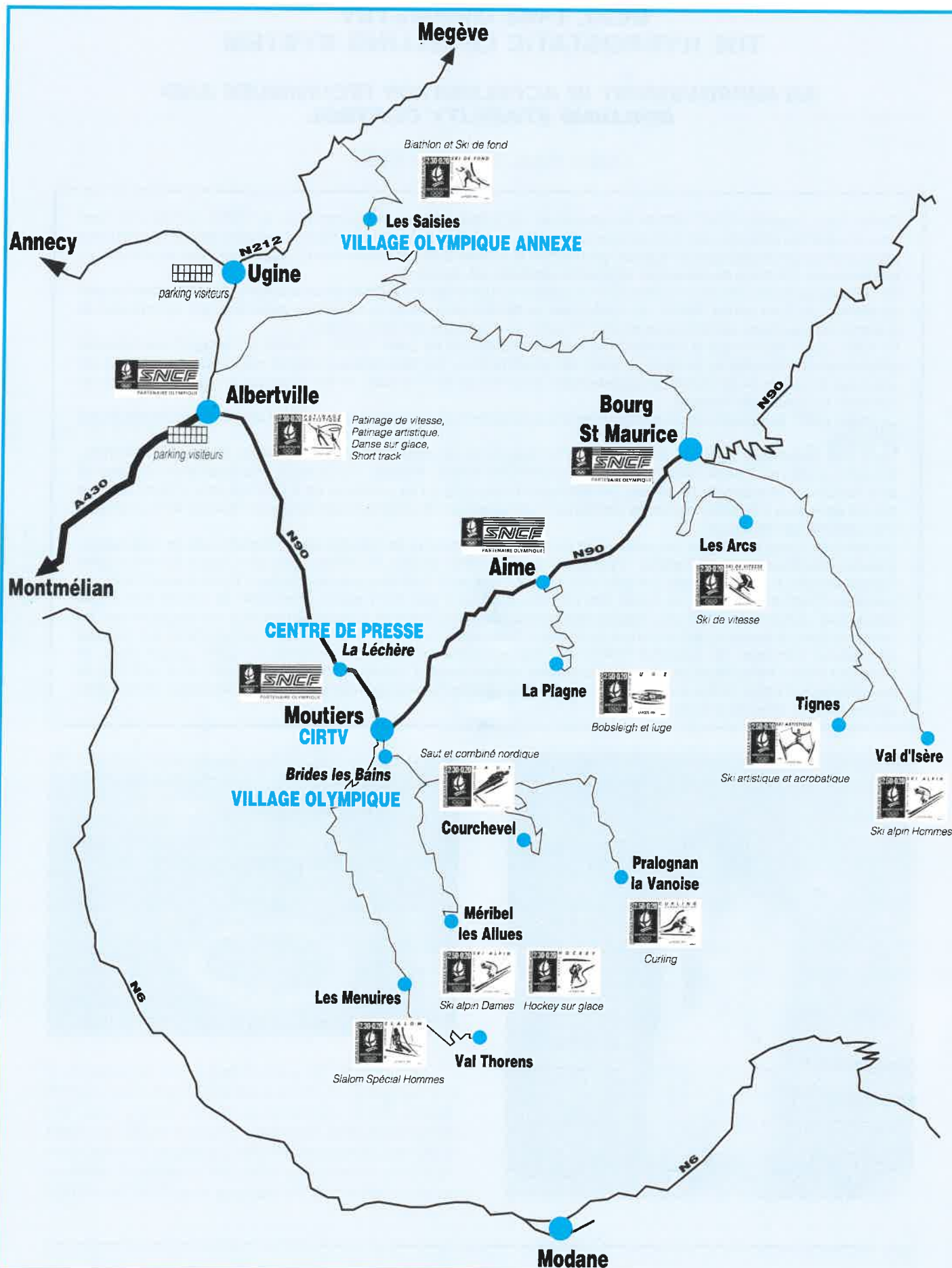
Identique dans ses principes aux plans Palomar déployés pour les grands départs JO-vacances, il aura pour objet :

- d'informer les automobilistes, tout au long de leur parcours, de l'évolution des conditions de circulation en Savoie et de les conseiller en conséquence,
- de faciliter l'accès à la Savoie olympique en mettant en place les itinéraires de délestage ou les déviations qui pourraient s'avérer nécessaires en cas de perturbation du trafic sur tel ou tel point du réseau régional,
- de réguler, si besoin est, le flux d'arrivée des véhicules en Savoie en jouant sur le débit des barrières de péage des autoroutes.

Carte réalisée sur une idée de François Dugied.

IMPLANTATION GÉNÉRALE DES SITES DES JEUX OLYMPIQUES D'ALBERTVILLE ET DES ACCES PAR LES GARES SNCF - GARES ROUTIERES (COJO - BUS ET TAXIS)

ALBERTVILLE - MOUTIERS - AIME - BOURG SAINT MAURICE



REAL TIME GEOMETRY THE HYDROSTATIC LEVELLING SYSTEM

AN IMPROVEMENT IN ACCELERATOR TECHNIQUES AND BUILDING STABILITY CONTROL

Daniel Roux, Ingénieur ESGT

Daniel Roux, Ingénieur ESGT débute sa carrière en 1972 dans l'équipe des géomètres du CERN, où très vite il est responsable des activités calculs du groupe, auquel ses nombreux programmes dans le domaine des compensations par moindres carrés des grands réseaux, permettent d'aborder avec un nouvel esprit l'alignement des accélérateurs de particules. (Le coup de grâce aux segments capables est donné !!).

En 1980, passant de l'infiniment petit à l'infiniment grand, il participe à la réalisation de la construction de l'observatoire du plateau de Bure (projet IRAM), où il préconise le développement de la technique capacitive afin de mesurer et d'aligner des surfaces paraboliques de 200 m² avec un écart-type inférieur à 60µm.

En 1987, avant même que la communauté européenne décide de créer l'ESRF, il définit les bases d'une nouvelle génération de mesures en temps réel pour les accélérateurs, qui sera retenue pour la réalisation de l'anneau de stockage du projet de la source de rayonnement synchrotron de Grenoble, et qui a conduit au développement du système HLS sujet de l'exposé.

Le projet ESRF est à la physique du rayonnement synchrotron ce qu'a été le projet CERN de 1954 à la physique des particules.

Dans une dynamique similaire, les onze pays fondateurs de ce projet (Allemagne Fédérale, Belgique, Danemark, Espagne, Finlande, France, Italie, Norvège, Royaume-Uni, Suède, Suisse), ont uni leurs efforts (et leurs budgets !!) pour construire et exploiter un anneau de stockage d'électrons ou de positrons de 6 GeV qui sera utilisée comme source de rayons X de brillance élevée permettant l'utilisation d'une soixantaine de lignes de faisceau dans un champ d'expérience de 30 000 m².

Du point de vue géométrique, cet anneau de stockage est constitué de 708 éléments magnétiques de trois types : Dipôles, quadripôles et sextupôles, répartis sur une longueur de 844,39 mètres. Les géomètres doivent aligner l'ensemble de ces aimants avec une précision de ± 0.1 mm et la maintenir pendant toute la durée d'exploitation du faisceau. C'est pour remplir ce cahier des charges ambitieux que nous avons développé ce nouvel instrument dénommé couramment HLS (de l'anglais Hydrostatic Levelling System). Celui-ci est en train de révolutionner les mesures dans le domaine des contrôles de stabilité d'ouvrages d'art tant par sa précision, sa fiabilité et son principe de mesure continue. Un système fonctionne depuis maintenant plus d'une année à l'ESRF couplé avec un asservissement mécanique de vérins sur une table d'étalonnage d'inclinométrie et, les résultats d'un contrôle de stabilité de huit dalles béton d'un ouvrage d'art sont sous contrôle depuis maintenant six semaines et, les résultats seront publiés dans deux mois.



The first ESRF patent has been registered. It concerns the «Hydrostatic Levelling System XUOR 2000» (HLS) developed by D. Roux and the Alignment and Geodesy Group (ALGE) to meet ESRF requirements. The HLS provides a continuous real-time monitoring of sensitive elements such as quadripoles in ESRF storage ring. The resolution

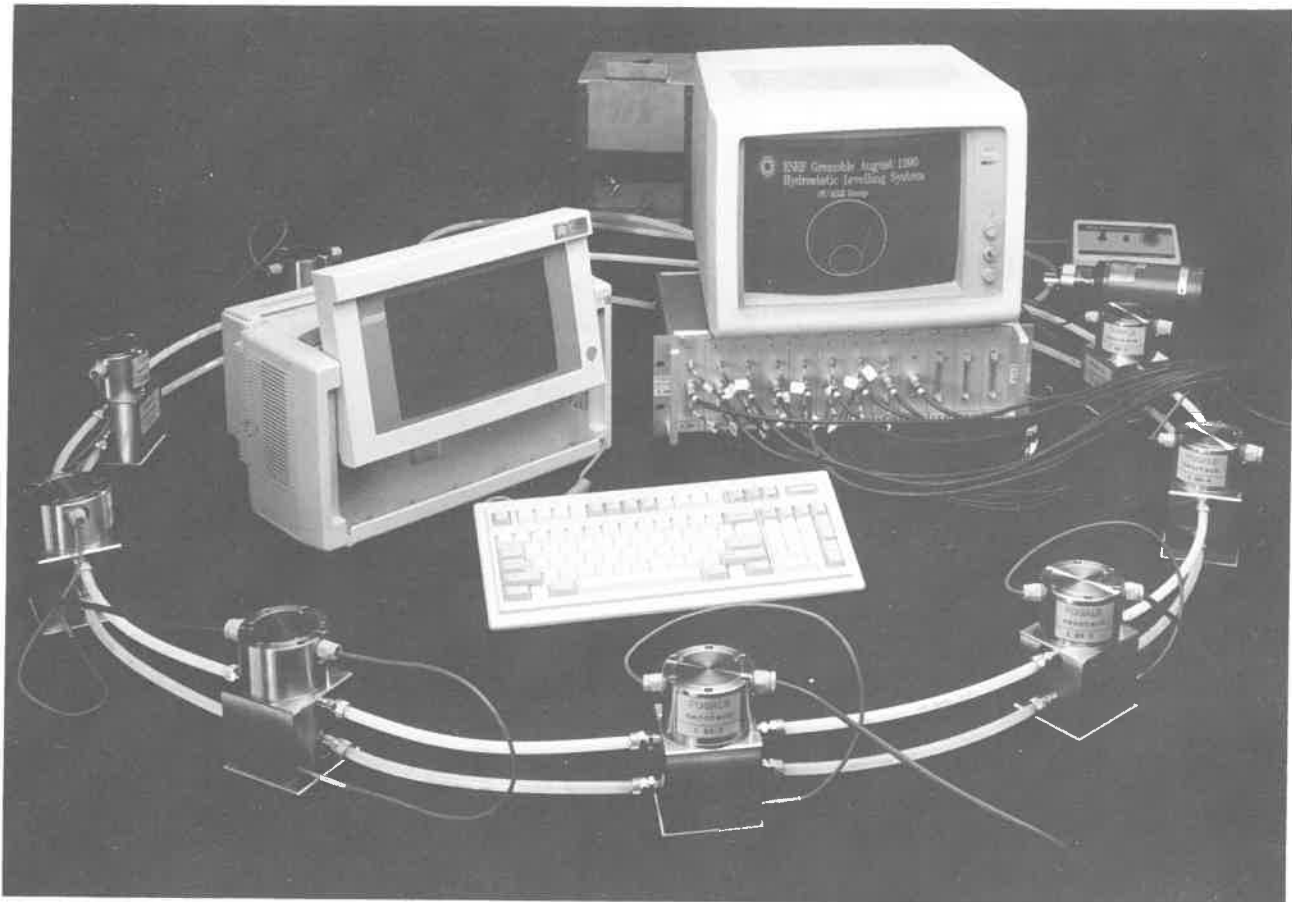


Fig. 1. Le prototype HLS System.

of this monitoring system is better than $1 \mu\text{m}$ and its accuracy is greater than $5 \mu\text{m}$.

GENERAL PRINCIPLE OF THE HYDROSTATIC LEVELLING SYSTEM

The HLS is based on the principle of communicating vessels. A fluid, always seeking a level of equal potential or height, flows freely through pipework between vessels. The surface of this fluid is the reference. Height differences are measured by capacitive sensors mounted inside the HLS vessels, above the fluid surface. By this principle, absolute height differences (Δh) between neighboring vessels can be determined. Fig. 1 shows the prototype HLS system.

Water was chosen as the HLS reference fluid because it is safe, inexpensive and a good electric conductor. However, water has a relatively large expansion coefficient ($2 \mu\text{m}/\text{degree C/cm}$). Consequently, both the temperature difference between vessels and the height of the water column of in the vessel must be considered.

Non-contact capacitive sensors offer several

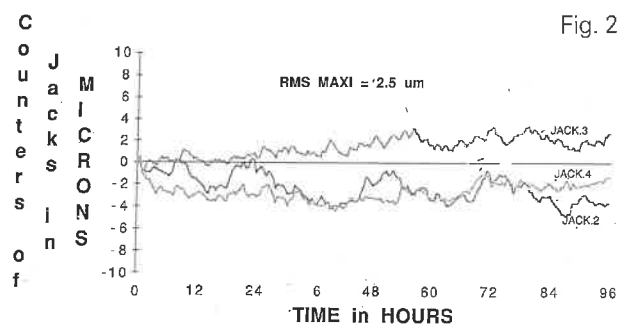


Fig. 2

advantages. Because the sensor is not in contact with the water surface during operation, corrosion and mineral salt deposition do not cause problems. Moreover, because the capacitive sensor integrates over a 10 mm diameter surface problems with dust and vibrations on the water surface are averaged out. Effects of meniscus or water surface sphericity are eliminated when all of the vessels are of the same size and the fluid is homogeneous. In addition, capacitive sensors provide a continuous series of integrated measurements over a long time period. This is ideal for a monitoring system. Experiments showed that a sensor properly calibrated provides a resolution

DU NOUVEAU CHEZ GEOTRONICS

Geotronics devient
distributeur exclusif
pour la France
des récepteurs
GPS TRIMBLE
pour la topographie.

Nouvelle génération
de récepteurs GPS miniaturisés
4000 SE TRIMBLE



et toujours une gamme complète de stations totales pour la topographie



NUMÉRIQUE

ALPHANUMÉRIQUE

MOTORISÉ



ONE MAN SYSTEM



Si vous désirez des renseignements, téléphonez ou retournez-nous
ce coupon.

Nom _____

Société _____

Adresse _____

Tél. _____

souhaite une documentation sur :

- ☐ GPS
☐ Station totale
☐ Station motorisée
☐ Une démonstration



Parc d'activité Les portes de la forêt
Allée du Clos des Charmes
77090 COLLÉGIEN

Téléphone : (1) 60.05.13.14

Télex : 693 099 Géodata

Télécopie : (1) 60.17.40.56

Long Term Stability Tests

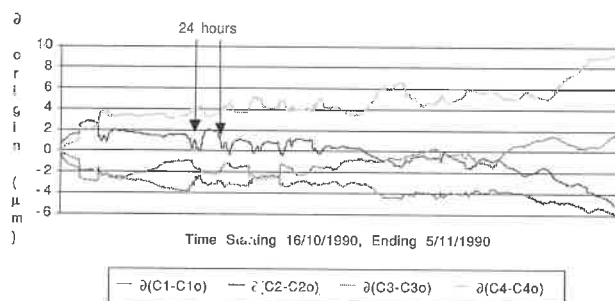


Fig. 3

better than $0.1 \mu\text{m}$. Only the absence of a nanometric standard limits an even more precise calibration and higher resolution.

Fig. 2 and 3 show the results of a long term measurement. Fig. 2 shows a standard error of $2.5 \mu\text{m}$ of the cumulated displacement during four days on three jacks. This figure may be considered an absolute measure of ground movement. Fig. 3 shows the stability of four HLS sensors over a period of 20 days.

CORRECTIONS AND SOLUTIONS TO PROBLEMS

To achieve a resolution of better than $0.1 \mu\text{m}$ in dh between HLS vessels, several parameters must be considered.

Obviously, finite pressure differences between HLS vessels must be corrected for. However, a simplified solution was adopted at ESRF because it is expected that there will only be accidental, isolated and periodic pressure changes resulting from open doors etc.: the system is maintained at an equal pressure by connecting each vessel with its neighbors by a closed air loop. Experiments showed that pressure variations between vessels separated by 40 meters of cumulated piping are not detectable. There is, however, one point open to atmosphere pressure in the system.

Laboratory tests showed that a global temperature change has no effect on dh. However, a 1° temperature difference between two vessels with a water column height of 5.5 cm (prototype vessel) results in a measured difference of $11 \mu\text{m}$. With the prototype vessel, the water column height is 3 cm. This corresponds to an error of $6 \mu\text{m}$ per degree of temperature difference. A sensor in the HLS vessel capable of reading temperature to $\pm 0.1^\circ \text{C}$ reduces this error by a factor of ten. Other steps to reduce errors resulting from temperature variations are:

1. A maximization of the thermal inertia of the system by using low thermal conductors for the pipework.

2. The best possible correlation between temperature measurements and the temperature of the capacitive sensor itself by using a good thermal conductor (stainless steel) for the vessels.

Periodic wetting and condensation on the surface of the capacitive sensors destroys their reliability. Consequently, for the proper functioning of the HLS it is imperative that the sensor surface is free of fluid. Furthermore, the sensor surface must withstand corrosion and have high dimensional stability with respect to humidity changes resulting from periodic immersion in mildly chlorinated water.

REAL-TIME DATA ANALYSIS

The precision and reliability of the system is achieved by the connection of the HLS output signal (0-10 V) to a high resolution analog/digital card. The precision and speed of data acquisition is determined by the type of card: 12 bit card, 1 bit = $2.5 \mu\text{m}$; 16 bit card, 1 bit = $0.15 \mu\text{m}$.

At ESRF the data acquisition system using a high quality analog/digital interface has been supported by the work of the team of the Digital Electronics Group of ESRF.

Real-time calculations provided by intelligent software permit the detection of any anomalous behaviour. For example, local heating or cooling, or small leaks in the system can readily be detected for repair or corrected for. A differential output signal avoids errors resulting from electrical parasites on the signal line.

The signal output of the HLS sensor is the average of 100 measurements taken during 3 seconds. The time required per measurement depends on the number of sensors connected to the system. At present, the 9 HLS vessels and captors are connected to an IBM PC via a Nautal 12 bit analog/digital card. Software exists to read and process data from HLS temperature and capacitive sensors. A sub-routine permits the elimination of all accidents (electrical, electronic, hydraulic etc.) by imposing a confidence threshold on the measurements. At present, the Computing Services Division is linking the system into the ESRF machine control computer.

Finally, corrections for non-linearity of the sensor output over the range of 2.5 mm (-10 V), and for temperature differences between vessels

must be made. These corrections, although not complex (normally a third degree polynomial), can only be provided in real-time by a computer.

IMPROVEMENTS ON THE PROTOTYPE

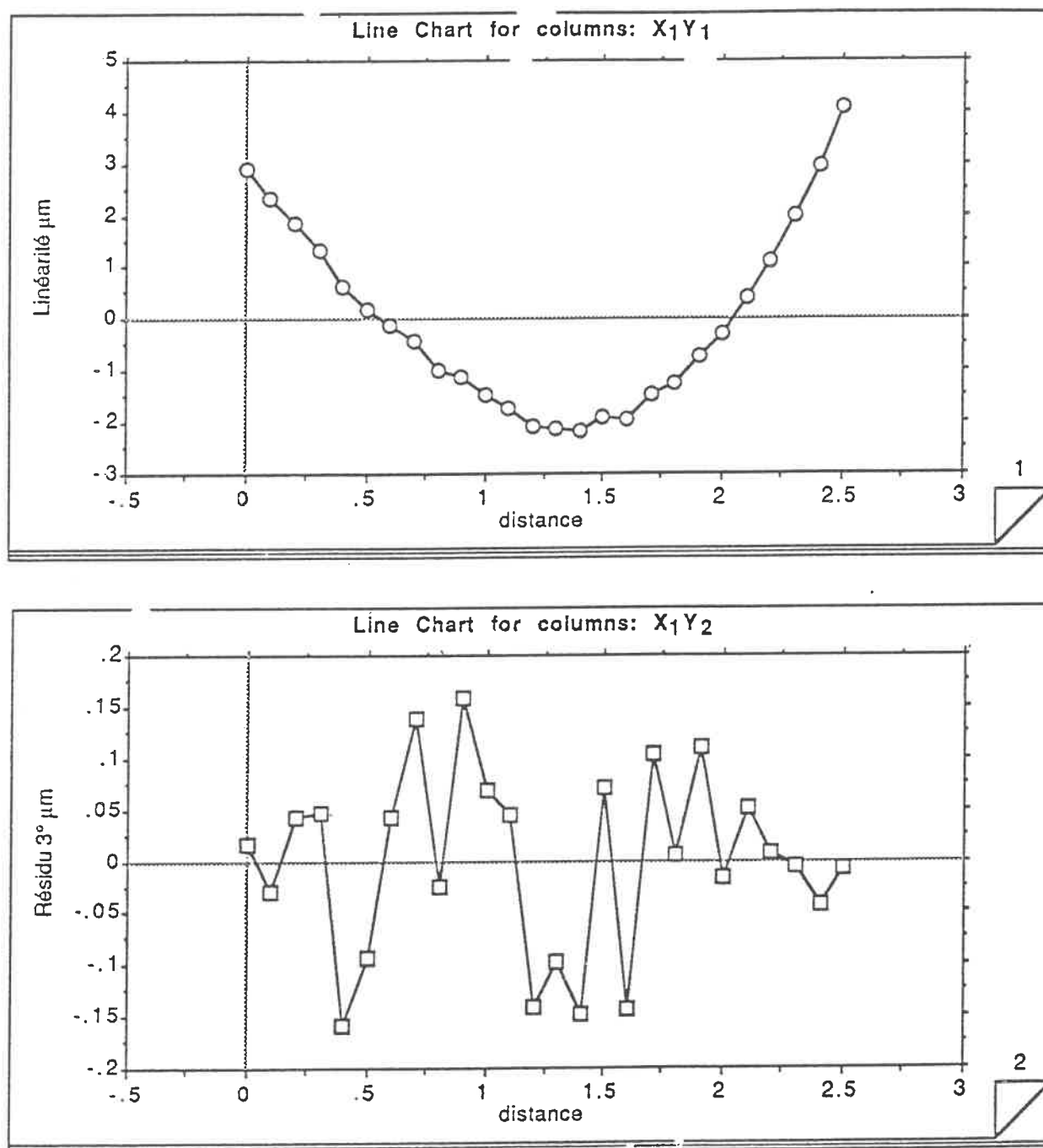
The prototype was the first functional HLS built by D. Roux in his laboratory. The preserial HLS comprises the first 9 HLS produced by FOGALE NANOTECH. It is with these captors and vessels that exhaustive tests were made. At

present the totality of the 288 serial HLS have been delivered and tested at the ESRF.

In an effort to minimize the effects of temperature differences between vessels on dh, the height of the water column was lowered from 5.5 cm (prototype vessels) to 3 cm.

Fig. 4 shows the residuals (maximum $-0.2 \mu\text{m}$) between the mean third degree polynomial developed for the preserial HLS system, and the

Fig. 4



preserial vessel No.1 signal output over the range from 0 to 10 volts. This result shows the reliability of the HLS calibration process.

Water loss due to evaporation is unavoidable. However, loss in the preserial system ($24\text{ }\mu\text{m}$ per day) is considerably less than to the prototype system ($80\text{ }\mu\text{m}$ per day). Considering the preserial HLS measurement range is 2.5 mm, refilling will be required once every 75 to 100 days. (Refilling was required once every 30 days with the prototype system). This is important when considering that the system cannot be used during the refilling process (4 to 8 hours).

POSSIBLE INDUSTRIAL APPLICATIONS

Apart from its use for the first alignment and periodic realignments of particle accelerators, the HLS has several other conceivable applications. At the ESRF, it is hoped that the system will be integrated into future experiments. Further applications could be the monitoring of the stability and safety of structures such as buildings, bridges, tunnels, dams, nuclear power stations and viaducts. Similarly, the HLS system can be used in the control of industrial machines and objects

such as acceleration ramps, guide rails, surface plates and machine tool structures.

At first, the invention was patented in France. The high quality of the prototype system and the excellent medium term stability confirm the remarkable performance of the HLS. In addition, a research report and the documentary advice provided by the «Institut National de la Propriété Industrielle» (INPI) were very helpful for the worldwide extension of the patent. The aim of ESRF is not to industrialize inventions. For this reason a licence contract for the industrialization of the invention has been placed with the company FOGALE NANOTECH specialized in capacitive measurement equipment. The application in future accelerators and in industry will provide substantial savings of time and manpower. Several organizations have already shown interest in the use of this system.

ACKNOWLEDGEMENT

The author associates M. Martin to this paper for his large participation in the area of pascal programming and english translation.

irremplaçable !

REPRODUCTION PHOTOGRAPHIQUE
votre seul partenaire de précision et de qualité.


TOPOGRAPHIE

CARTOGRAPHIE

INDUSTRIE &
BUREAU D'ETUDES

ARTS GRAPHIQUES
&
DOCUMENTATION

ARCHITECTURE &
URBANISME

Consultez-nous
sur
Minitel 

votre spécialiste :

LART
PHOTO-REPROGRAPHIE PHOTO-CARTOGRAPHIE

5, RUE DE LA VEGA 75012 PARIS

(1) **43.47.15.92**

MÉTROLOGIE POUR UN GRAND COLLISIONNEUR LINÉAIRE

Willame Coosemans

Adjoint du Chef du Groupe de Géodésie Appliquée
CERN - Laboratoire Européen pour la Physique des Particules

1 - INTRODUCTION

Amener des électrons et des positons à une très haute énergie, n'est pas chose aisée. En effet, malgré les 28 km de circonférence du LEP (accélérateur-collisionneur d'électrons-positons) l'énergie maximum atteinte par les particules n'est que de quelques centaines de GeV. Cela est dû aux pertes d'énergie provoquées par le rayonnement synchrotronique émis par les faisceaux de particules quand ils circulent sur des trajectoires courbes. Ce phénomène est inversement proportionnel au rayon de courbure mais directement proportionnel à l'énergie à la puissance quatre.

Pour obtenir des collisions électrons-positons à des énergies plus élevées, le CERN étudie la possibilité de construire un grand collisionneur linéaire. Le complexe «CERN Linear Collider» (CLIC) serait principalement constitué de deux accélérateurs linéaires de 15 km chacun. Ils devraient accélérer et faire entrer en collision frontale des électrons et des positons pour obtenir une énergie totale de 2 TeV. La construction d'une telle machine lance des défis technologiques à toutes les disciplines scientifiques et techniques et notamment à la métrologie géodésique.

L'ensemble des deux accélérateurs principaux est constitué d'environ cent mille cavités accélératrices de 340 mm et de 35 mm de diamètre. L'ouverture pour le passage des faisceaux a un diamètre de 4 mm. Transversalement aux faisceaux, la précision sur la position relative de trois cavités consécutives est de 5 μ m (écart-type).

Les mouvements du sol, qu'ils soient provoqués par des phénomènes naturels, l'activité humaine ou la déformation des constructions où sont installées les machines, perturbent d'une façon significative l'alignement. Pour garantir des tolérances aussi exceptionnelles, seul un système d'alignement dynamique et de contrôle en temps réel peut être utilisé.

La mise en place d'un accélérateur débute par une *phase génie civil*, suivie d'une *phase pré-alignement*, utilisant les méthodes classiques. Au moment où l'on tente l'injection des faisceaux

dans les accélérateurs linéaires, l'alignement de ceux-ci doit être dans les tolérances requises. Pour obtenir un tel résultat, un système de mesure automatique de l'alignement doit être actif, avant et pendant les essais, et commander en temps réel les mouvements des actionneurs qui maintiennent en bonne position les 30 km d'éléments. C'est la phase d'alignement initial. Dès l'injection des faisceaux, les détecteurs de position, répartis régulièrement le long de la machine, fourniront les données aux actionneurs. Débute alors la *phase d'auto-alignement*. Le système de mesure ayant servi à l'alignement initial doit rester actif. Il devient de la sorte la mémoire de position des éléments, indispensable lors d'une nouvelle phase d'alignement initial, pour un redémarrage des faisceaux après arrêt.

Cette présentation décrit le système de supports équipés de micro-actionneurs commandés par ordinateur, ainsi qu'une méthode et une instrumentation envisagées pour un alignement en temps réel.

2 - SUPPORTS ET MICRO-ACTIONNEURS

(Figures 1, 2 et 3)

Pour réduire le nombre d'éléments à aligner dynamiquement, quatre cavités accélératrices sont fixées sur une même poutre. Les vés, qui supportent les cavités, sont alignés au moment de la fabrication de la poutre. Les extrémités de deux poutres adjacentes reposent sur un même berceau. L'extrémité d'une poutre est fixée rigidement au berceau ; l'extrémité de l'autre poutre est fixée au même berceau par l'intermédiaire de deux biellettes. Le berceau est relié à trois actionneurs et à une butée micrométrique par l'intermédiaire de biellettes. Deux actionneurs agissent suivant l'axe Z, un autre suivant l'axe X. La butée micrométrique permet un ajustage manuel suivant l'axe S. Le système est tel que les mouvements des actionneurs se traduisent par des déplacements angulaires entre les deux poutres autour d'un point d'articulation fictif, qui est l'intersection des lignes passant par les axes des vés des poutres.

Grâce au système de biellettes équipées de rotules de petit diamètre, les mouvements se font par rotation autour d'un point, quasiment sans

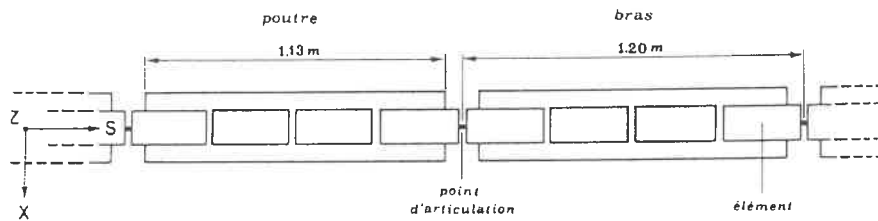


Figure 1

Figure 2

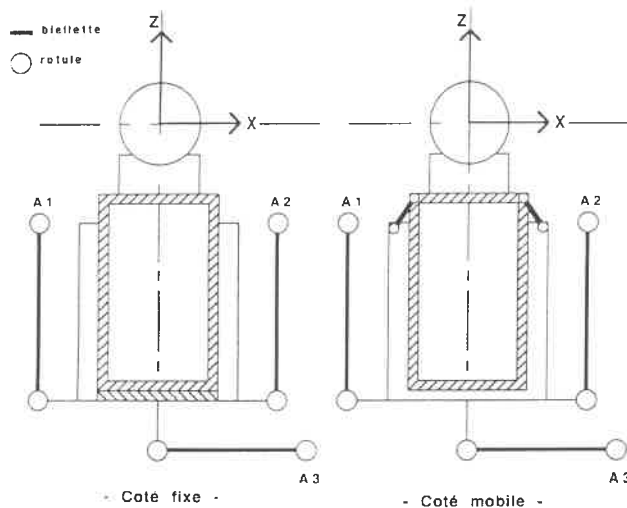
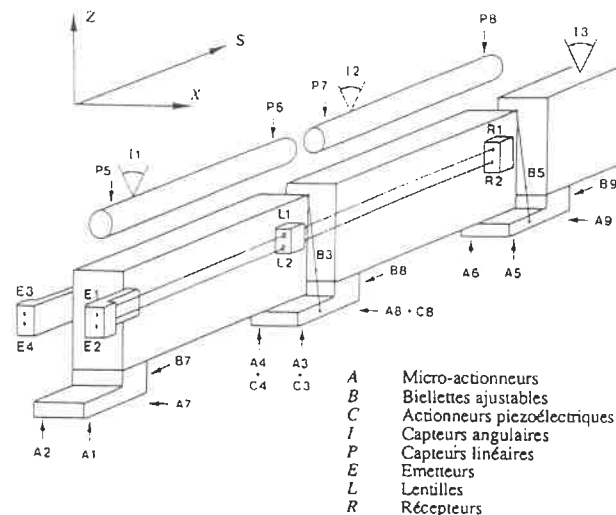


Figure 3



frottement, n'introduisant pas de contraintes dans les structures.

Une maquette à l'échelle 1/1 a été construite. Elle comporte deux poutres équipées de vés. Elles sont supportées par neuf actionneurs fixés rigidement sur une table en granit de deux tonnes, qui est le référentiel spatial du système. Des capteurs de déplacement linéaire, fixés au référentiel, ainsi que des clinomètres, fixés sur les poutres, contrôlent les mouvements des éléments prototypes fixés sur les vés, lorsque l'on effectue des mouvements sur les actionneurs. Les boîtiers de commande et de contrôle des capteurs et des actionneurs sont connectés à un ordinateur.

Deux programmes tests ont été développés. Le premier permet d'étudier le comportement mécanique du système pendant les déplacements. Il est possible de choisir un ou plusieurs actionneurs et de commander un déplacement quelconque. Le programme calcule les valeurs théoriques à atteindre sur les capteurs et, après les déplacements, fait la comparaison avec les valeurs lues. Le second programme est un logiciel d'alignement dynamique. Des valeurs sont choisies pour les capteurs. Le programme calcule

les mouvements à effectuer, commande les déplacements et maintient dynamiquement le système sur la position choisie.

Les poutres en céramique (carbure de silicium) ont une section de 120 x 60 mm et une épaisseur de paroi de 7.5 mm. Pour les mêmes dimensions, une poutre en métal tel que l'acier serait trois fois moins rigide et trois fois plus sensible aux variations de température. L'erreur d'alignement des vés, collés sur les poutres, est inférieure à 3 μ m.

Les actionneurs sont des moteurs pas-à-pas. Ils ont un pas de 0.1 μ m et une course de 8 mm. Les capteurs linéaires ont une résolution de 0.1 μ m, une course de 10 mm et une erreur maximum de 1 μ m. Les capteurs angulaires ont une course de ± 2 mrad et une précision de $2 \cdot 10^{-6}$ mrad.

Les performances de ce banc-test peuvent être résumées comme suit :

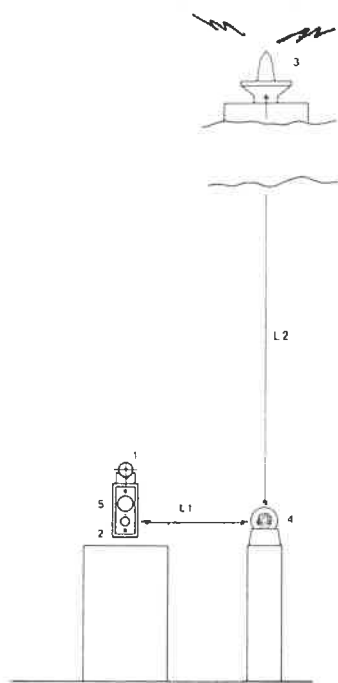
- plus petit déplacement possible dans une direction quelconque : 0.2 μ m ;
- hystérésis maximum mesurée pour un déplacement de ± 4 mm : 3 μ m ;
- écart maximum entre la position prévue et celle

obtenue en alignement dynamique : $0.2 \mu\text{m}$;
 • fréquence de ré-alignement d'un berceau $\sim 1 \text{ Hz}$.

3 - MÉTROLOGIE EN TEMPS RÉEL

Les cavités accélératrices sont parfaitement référencées par rapport aux poutres qui les supportent. Ces poutres, de par la conception de leurs supports, sont articulées autour d'un point fictif mais géométriquement défini. Il suffit donc d'aligner ces points pour réaliser l'alignement des poutres, et, par leur intermédiaire, les éléments de l'accélérateur.

Le système de mesure est constitué de trois réseaux régulièrement rattachés les uns aux autres (figure 4). Le premier, un réseau géodésique (précision des mesures de l'ordre de 1 mm), garantit la position absolue de l'ensemble des installations et les positions relatives de points éloignés de plusieurs kilomètres. Le second, un réseau de topométrie fine (précision des mesures de l'ordre de 0.1 mm), assure la position relative de points éloignés de plusieurs dizaines de mètres. Enfin, le troisième, un réseau de métrologie (précision des mesures de l'ordre de 0.001 mm) garantit la position relative de points éloignés de quelques mètres.



1 : Main Linac : structure accélératrice
 2 : Main Linac - poutre support
 3 : Réseau de géodésie de surface
 4 : Réseau de topométrie fine
 5 : Réseau de métrologie
 L1, L2 : Mesures de liaisons

Figure 4

L'ensemble de l'instrumentation qui mesure ces réseaux communique en continu l'information à un système de calcul. Celui-ci en fait l'analyse statistique, calcule la position des éléments, en déduit et commande les déplacements à effectuer sur les actionneurs.

3.1 Réseau de métrologie

Ce réseau doit déterminer le cheminement géométrique ayant comme sommets les points d'articulation des poutres et doit garantir les tolérances sur la position relative de ces poutres. L'instrumentation est intégrée dans les berceaux supports.

Méthode :

Ecartométrie bi-axiale extrapolée (figure 5)

Dans le plan (V) passant par le point 3 et perpendiculaire à la ligne (2,3), on mesure les différences en abscisse (m_x) et en ordonnée (m_z) entre le point 3 et le point d'intersection I de la ligne (1,2) et du plan (V).

Instrumentation :

Ecartomètre optique (figure 6)

Une cellule à quatre quadrants (dénommée récepteur) et un objet lumineux (dénommé émetteur) sont situés sur l'axe optique d'une lentille mince, de part et d'autre de celle-ci et à deux fois la focale. L'émetteur est un carré lumineux produit par un cache posé sur un verre dépoli éclairé par une source de lumière rouge. La droite de référence est définie par l'émetteur et la lentille. Les écarts se mesurent sur le récepteur.

Mise en œuvre :

Dans la mesure par écartomètre à fil, les lignes de référence se chevauchent et les mesures

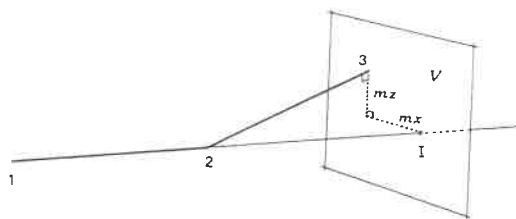


Figure 5

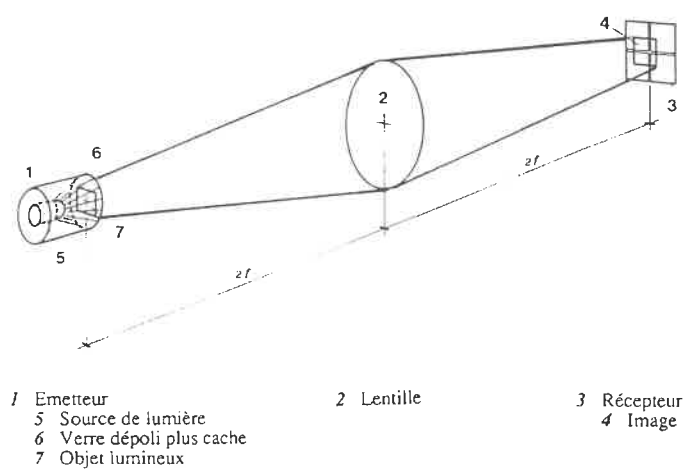


Figure 6

d'écarts se recoupent. Il en sera de même pour l'écartomètre optique. Chaque point à mesurer sera équipé alternativement d'un émetteur, d'une lentille, d'un récepteur. Comme dans les autres réseaux, l'ensemble des mesures doit être réalisé en continu. Chaque berceau devra être équipé à demeure de l'instrumentation nécessaire. Il y aura deux types d'équipement (figure 7). Les trajets optiques passent à travers les poutres.

Les mesures, décalées en z par rapport aux cavités, sont faites sur un axe passant par le centre de ces dernières. Il faut donc tenir compte de l'inclinaison de cet axe. Les poutres seront donc équipées d'un inclinomètre mesurant l'angle t dans le plan ZX.

Les simulations montrent que, pour un écart-type de $2 \mu\text{m}$ sur les mesures, la propagation des erreurs est telle, qu'à 100 m, l'écart-type sur la position d'un point d'articulation serait de 0.2 mm. Tous les 100 m, nous établirons donc une liaison avec le réseau de topométrie fine.

Essais et tests :

L'instrumentation a été développée par un institut de physique et est utilisée pour contrôler

automatiquement l'alignement des détecteurs de particules dans de grands ensembles expérimentaux. D'après les utilisateurs, la précision et la fiabilité des systèmes sont excellentes. Pour en avoir confirmation, quatre systèmes ont été fixés sur l'extérieur des deux poutres de la maquette. Des déplacements sont effectués par les actionneurs et les valeurs obtenues sur les récepteurs sont comparées aux valeurs des capteurs linéaires de référence (figure 3). Les résultats intègrent les erreurs de fonctionnement de la maquette et les erreurs des capteurs de référence. Pour une course de $\pm 200 \mu\text{m}$, on constate des écarts de linéarités inférieurs à 1 %, légèrement différents pour chaque récepteur. La répétabilité des mesures en toute position est inférieure à $2 \mu\text{m}$. Le constructeur, s'appuyant sur quelques tests significatifs, certifie que l'instrument peut être amélioré - c'est ce que nous nous efforcerons de faire.

Très prochainement, la maquette fonctionnera avec six poutres. Chaque berceau sera équipé avec les composants de l'écartomètre optique. Le système sera calibré par rapport à l'axe des cavités ou des vés supports et testé en situation réelle.

3.2 Réseau de topométrie fine

Son but est de rigidifier le réseau de métrologie. Il sera constitué, sur 30 km, d'un alignement de piliers espacés de 50 m. Mesuré d'une façon statique, il servira d'appui à la phase de pré-alignement. Il sera ensuite équipé d'un système de mesure en continu.

Méthode :

Ecartométrie bi-axiale interpolée (figure 8)

Dans le plan (V), perpendiculaire à la ligne (1,3), on mesure les différences en abscisse (m_x) et en ordonnée (m_z) entre le point 2 et le point d'intersection I de la ligne (1,3) et du plan (V).

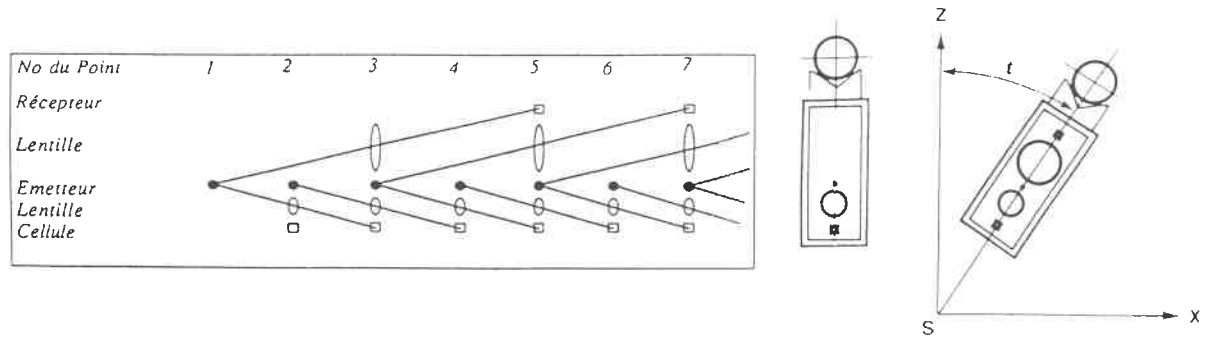


Figure 7

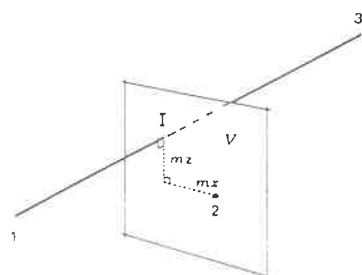


Figure 8

Instrumentation :

a) *Ligne de référence* : Un fil métallique est tendu à une valeur légèrement inférieure à sa limite de rupture. La ligne de référence sera donc une courbe ayant théoriquement la forme de la *chaînette*. La mesure en z dépendant de la connaissance de cette courbe, la tension du fil doit être particulièrement soignée. Le système actuellement à l'étude doit être sensible à une différence de 0.01 N.

b) *Ecartomètre à fil* : Plusieurs technologies existent pour réaliser un capteur capable de détecter un fil. Des développements sont en cours dans différents laboratoires. Il a été convenu avec ces derniers de développer une méthode capacitive. La variation de la capacité électrique mesurée entre le fil et une surface de référence est proportionnelle à la variation de distance. Une société, spécialisée dans ce type de mesures, a, suivant nos spécifications, développé et construit un système prototype actuellement en test dans notre laboratoire (figure 9).

Ce système, qui se présente sous la forme d'un parallélépipède creux ouvert aux extrémités ($4 \times 4 \times 10$ cm), intègre huit capteurs, trois sur deux faces opposées et un sur les deux autres faces. La course est de ± 4 mm et le fil étant approximativement centré, $1 \mu\text{m}$ de déplacement correspond à un signal de sortie de 1.3 mV, ce qui est une bonne sensibilité. La disposition particulière des capteurs a été réalisée pour donner un maximum d'information sur le comportement de ceux-ci

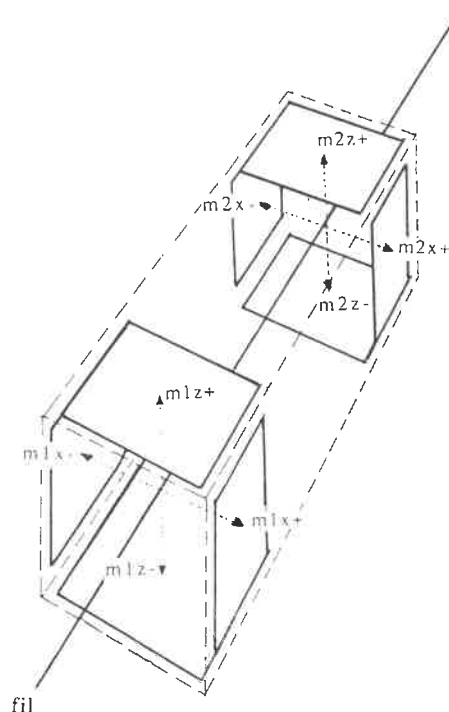


Figure 9

pendant les tests. Le système final aura probablement deux capteurs par face, afin de mesurer les déplacements linéaires et angulaires de façon surabondante. Du fait de l'acquisition récente de ce matériel, il n'est pas possible de donner plus de détails sur la précision ou sur l'utilisation optimum d'un tel système.

Mise en œuvre :

Dans la détermination statique d'un réseau linéaire par écartométrie à fil, on déplace la ligne de référence de proche en proche et les repères deviennent alternativement points d'appui et points mesurés. Afin de le reproduire dans un système de mesure du réseau en continu, on installe à demeure deux lignes de références parallèles.

Les fils sont tendus sur 200 m. L'écart entre les lignes est fonction des capteurs utilisés ; dans notre cas : environ 10 cm. Les points d'attache des fils sont décalés de 100 m d'une ligne à l'autre. Les points d'attache, combinés avec les systèmes de mise en tension, sont communs à deux fils consécutifs.

On mesure la position des points d'attache des fils d'une ligne par rapport aux fils de l'autre ligne. Ces mesures, plus les distances entre points d'attache, déterminent strictement la figure. Les informations surabondantes sont obtenues en mesurant la position des fils d'une ligne par rapport aux fils de l'autre ligne, à 50 m des points d'attache (figure 10).

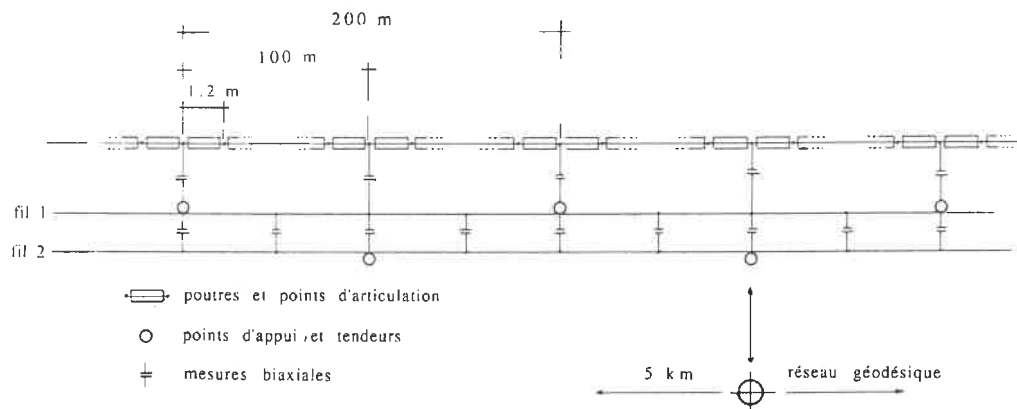


Figure 10

Les simulations sur ordinateur ont montré que, théoriquement, pour un écart-type de 0.01 mm sur les mesures, la propagation des erreurs est telle, qu'à 5 km, l'écart-type sur la position d'un repère serait de 2 mm. La maille du réseau géodésique pourrait donc être de 5 km.

Tests, essais :

Le système à fil décrit ci-dessus n'existe pas encore. Nous ne savons pas s'il est possible de l'utiliser pour des mesures absolues en Z, si la forme géométrique du fil tendu est dans les tolérances exigées. Des essais sont en cours avec un fil d'acier de 0.2 mm tendu sur 130 m. Ils ont également pour but l'étude du système à capteurs capacitifs et des points d'appui tendeurs.

3.3 Réseau géodésique

Ce réseau n'a pas fait l'objet d'études particulières. On peut cependant imaginer un réseau de 30 km de long, intégrant obligatoirement un alignement de piliers distants de 5 km et situé à l'aplomb des accélérateurs. Ces piliers seront reliés au réseau de topométrie fine.

La mesure par géodésie spatiale permettra des déterminations ponctuelles pendant les phases de génie civil et de pré-alignement et des déterminations continues pendant la phase d'alignement initial. Les mesures de descente de verticale devront elles-aussi pouvoir se faire en continu.

4 - CONCLUSION

C'est à la demande du Groupe de Recherche CLIC, préoccupé par la faisabilité d'une telle machine, que ce programme d'étude et de développement a été entrepris. Notre scepticisme du départ s'est progressivement atténué.

Aujourd'hui, nous sommes résolument entrés dans le monde du micromètre et l'idée de devoir un jour aligner 80.000 éléments sur 30 km nous est devenue familière.

Nos études ont bien progressé. Le système de supports et d'actionneurs qui équipe la maquette a donné entière satisfaction et on peut envisager son utilisation pour une solution finale. Il en est de même pour l'écartomètre optique. Des solutions industrialisables sont envisagées pour ces deux types de produits.

Nous sommes cependant loin des solutions finales et des questions restent sans réponse. Pour n'en citer qu'une : comment gérer 200 000 capteurs, simultanément et en continu, tout en agissant sur 75 000 actionneurs ? Cette question, comme les autres, trouvera forcément une solution un jour ... c'est de la technique !

Les vraies questions sont celles auxquelles des centres de recherche fondamentale comme le CERN tentent de répondre : de quoi est faite la matière ? quelles sont les forces qui régissent l'univers ? La machine CLIC est conçue pour y répondre partiellement.

SIRAP

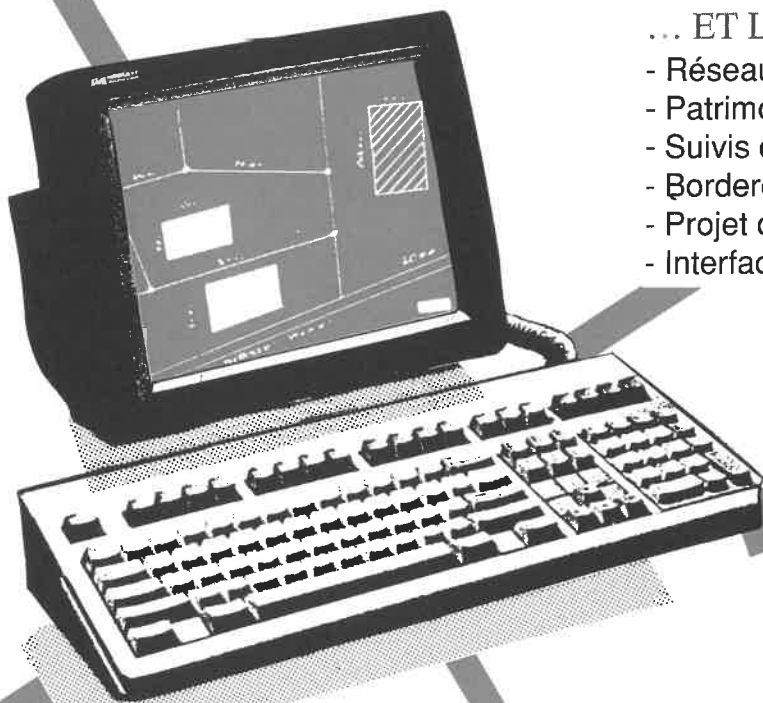
LA SIMPLICITE PAR EXCELLENCE

a conçu pour vous le logiciel éprouvé DIGITOP, système complet de DAO / CAO et de Banque de Données URBAINES, appuyé sur :

15 années d'EXPERIENCE au service des GEOMETRES EXPERTS

TOUTES LES EXPLOITATIONS CLASSIQUES

- Carnets de terrain
- Calculs
- Profils
- Dessin automatique
- Restitutions photogramétriques
- Remembrement technique et administratif.



... ET LES GESTIONS MODERNES

- Réseaux
- Patrimoines
- Suivis de chantiers
- Bordereaux de prix et devis de travaux VRD
- Projet de canalisation avec gestion des pièces
- Interface DIGITOP - AUTOCAD.

DIGITOP VERSION 2

- Micros compatibles PC : EGA, VGA
- Cartes graphiques MATROX GALAXY
- Traceurs Benson, HP

SIRAP C'EST LA GARANTIE

- D'un logiciel EVOLUTIF
- D'une assistance volontaire et permanente
(téléphone - transfert par minitel)

La Générale des Eaux, plusieurs Collectivités Locales et plus de 100 GEOMETRES-EXPERTS nous ont choisis pour notre compétence et notre souplesse.

LES OUTILS DE CONTRÔLE DES GRANDES STRUCTURES COMPLEXES

LA GRANDE PYRAMIDE DU LOUVRE

par Jean-François Sageau, Ingénieur, PDG SITES S.A.
et Hervé Lançon, Ingénieur, Resp. Svce Vision-Dimension SITES S.A.

Résumé

Le présent article, d'une part, expose et situe dans son contexte la philosophie générale de la surveillance prédictive des structures et du contrôle sur ouvrages complexes, et d'autre part, souligne la diversité des outils techniques qui leur sont associés.

Un exemple d'application sur structure complexe est décrit : le suivi de la Grande Pyramide du Louvre. Le choix de la méthodologie retenue, les moyens mis en œuvre pour assurer les contrôles continus et périodiques, ainsi que les premiers résultats obtenus, sont exposés en détails.

Abstract

This paper presents the general philosophy of the predictive monitoring or the control on structures, and underlines the variety of the present-day engineering means which make possible these surveys or diagnosis.

An example is given for a complex structure: «La Grande Pyramide du Louvre». The selection of the appropriate methodology, the prestations to be implemented to achieve continuous and periodic controls, and the first conclusions obtained, are reported with details.



Jean François Sageau.



Hervé Lançon.

*La pyramide pendant l'intervention de
photogrammétrie*



Planche 1. Le contrôle photogrammétrique de la planéité des faces.

0 - LA PLACE CROISSANTE DU SUIVI DES STRUCTURES COMPLEXES

Depuis toujours, les contrôles techniques réglementaires sur les structures sont effectués, soit dans la phase amont (études, choix des hypothèses, plans...), soit dans la phase de construction (conformité aux spécifications, suivi de l'exécution, ...)

Par la suite, après achèvement, il n'existe plus de réglementations, hormis celles issues de la garantie décennale (en France). La notion de Contrôle disparaît alors au profit de celle d'Expertise.

Le plus souvent, ces expertises ont lieu bien longtemps après l'apparition des premiers désordres et elles sont, dans la majorité des cas, utilisées pour établir un Cahier des Charges des réparations.

Pourtant, de nombreuses évolutions sont apparues depuis plusieurs années, à différents niveaux : architecture et technique, méthodes de construction, matériaux utilisés, et enfin sur le plan de l'exploitation - qui joue un grand rôle, et pas seulement dans le monde industriel (augmentation du nombre de visiteurs à la Tour Eiffel ou à Beaubourg, par exemple).

Il est donc devenu évident, à un certain nombre d'exploitants, que des contrôles préventifs devaient être mis en place systématiquement, juste après la construction, pour mieux assurer la pérennité de leurs structures.

Ces contrôles, effectués parallèlement à la construction et à l'exploitation, connaissent un essor grandissant car ils conduisent d'une part, à une meilleure appréhension des risques techniques, et d'autre part, à une optimisation des réparations et des coûts.

Ils permettent en effet :

- de valider les hypothèses retenues lors de l'édification ou de la réparation, et de vérifier la pérennité de ces hypothèses dans le temps,
- de suivre les évolutions structurelles et en particulier celles de caractère irréversible, de façon à prévenir les désordres,
- d'obtenir une mémoire quantifiée de la structure, en archivant les données et en ne les traitant qu'au cas par cas.

1 - LES OUTILS MIS À DISPOSITION DES INGÉNIEURS ET LEUR UTILISATION

Actuellement, on dispose d'une panoplie importante de méthodes et de techniques pour contrôler l'état d'une structure à un instant donné, ou pour suivre l'évolution de cet état dans le temps.

Toutefois, cette richesse est souvent inexploitée :

- D'une part parce que le choix d'une technique est rarement précédé d'une réflexion pointue sur les descripteurs qui sont les mieux adaptés à représenter l'état de la structure (flèche, déformation, niveau de vibration, état de fissuration, ...) et que cette réflexion, si elle a lieu, n'est en général pas menée de façon impartiale. (La technique de mesure ne doit pas guider le choix des descripteurs, ce qui est malheureusement souvent le cas).
- D'autre part, parce que les bureaux d'études n'ont souvent pas les moyens d'utiliser, pour un contrôle donné, plusieurs techniques complémentaires, ce qui conduit à des diagnostics erronés ou incomplets.

Le tableau 1 ci-dessous présente, à titre indicatif et non exhaustif, la liste des outils les plus souvent mis à disposition par SITES, en fonction du problème cherché.

Tableau n° 1. Techniques mises en œuvre suivant le problème rencontré.

	I.R.	CNS	T.G.	T.P.	A.V.	CVBF	CND	I.F.	I.M.
Dégradations de la surface externe	XXX	XXX							
Déformations de la géométrie		XXX	XXX	XXX				XXX	
Dégradations globales ou cachées				XXX	XXX	XXX			
Altération des matériaux					XXX		XXX		
Phénomènes évolutifs lents		XXX	XXX	XXX		XXX		XXX	
Phénomènes en temps réels					XXX				XX
Défauts sur Machines			XXX		XXX			XXX	XX
Interfaces machines-structures					XXX	XXX		XXX	
Phénomènes sismiques						XXX		XXX	XX

Exemple de choix de techniques en fonction des descripteurs		Cheminée industrielle		Pyramide du Louvre	
Paramètres de Base	Techniques	Descripteurs	Techniques	Descripteurs	Techniques
VISION	* Inspection rapprochée				
	* Imagerie numérique	Taux de Fissuration	Imagerie CNS (Quantitative)	Etat des joints	Inspection rapprochée Imagerie CNS (Qualitative)
DIMENSION	* Topométrie Géodésique * Topométrie Photogrammétrique * Imagerie Numérique * Inclinométrie * Capteurs de déplacement	Verticalité du fût	Topométrie	Planéité des faces	Photogrammétrie
DEFORMATION (dynamique)	* Topométrie Photogrammétrique * Topométrie Géodésique * Accélérométrie * Extensométrie dynamique	Détermination des fréquences propres, modes propres sous l'effet du vent	Accélérométrie Extensométrie dynamique	Effet du soleil Mouvement des barres, tiges... Contraintes	Photogrammétrie Inclinométrie Extensométrie
CONTRAINTES	* Extensométrie * Vernis * Accélérométrie	sans objet, sauf cheminées en métal ou composites	Extensométrie	Sur les éléments internes	Extensométrie Accélérométrie
SENSIBILITE (à un événement)	* Instrumentation * Topométrie	Tempêtes Démolitions Séismes	Instrumentation en poste fixe	Climatisation Nettoyage	Extensométrie Inclinométrie Photogrammétrie
VIEILLISSEMENT	* Instrumentation continue * Instrumentation périodique * Topométrie périodique	Matériau Structure	Instrumentation périodique Topométrie	Verre structure	Instrumentation continue

Tableau 2 : Descripteurs et techniques en fonction de la structure

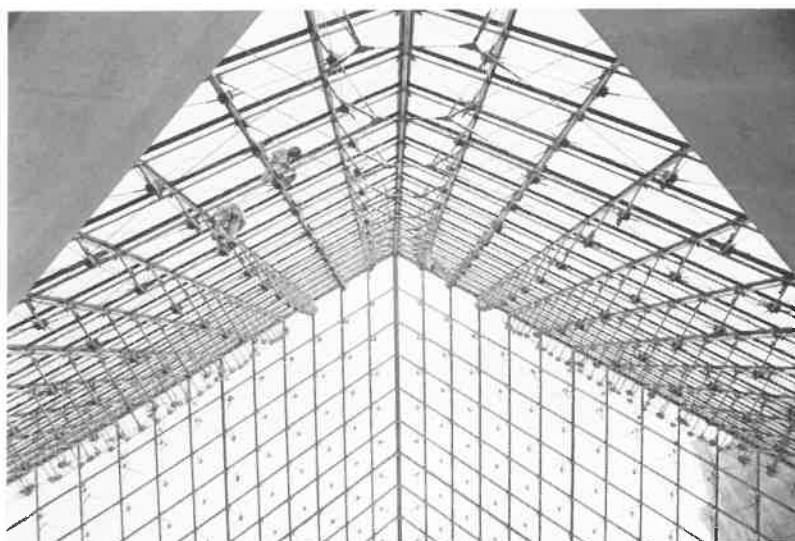


Planche 2. Intérieur de la Pyramide du Louvre. Complexité de la structure. Mise en place des capteurs.

Dans ce tableau, les abréviations correspondent aux techniques suivantes :

I.R. : Inspections Rapprochées
CNS : Système CNS (Cartographie Numérique des Structures).
T.G. : Topométrie Géodésique avec le système ECDS 3.
T.P. : Topométrie Photogrammétrique.
A.V. : Analyses vibratoires.
CVBF : Cartographie Vibratoire Basse Fréquence.
CND : Contrôles Non Destructifs (Ultrasons, Foucault,...).
I.F. : Instrumentation en poste Fixe.
I.M. : Instrumentation en poste Mobile.

En parallèle, la nécessité de faire précéder le choix de la méthode par celui du descripteur est illustrée sur le tableau 2, qui précise les moyens à mettre en œuvre pour contrôler d'une part, une cheminée industrielle et d'autre part, la Grande Pyramide du Louvre.

Dans chaque ligne du tableau 2 (voir page précédente), on trouve successivement : le type de grandeur physique associée aux phénomènes susceptibles d'apparaître, les techniques de base qui permettent de quantifier ces phénomènes, le descripteur le mieux adapté au contrôle, pour la structure donnée (descripteur que l'on peut quantifier avec l'approche de base choisie), et la technique choisie pour le contrôle.

2 - LA GRANDE PYRAMIDE DU LOUVRE ET SES CARACTÉRISTIQUES REMARQUABLES

En phase amont, avant construction, les contrôles se réfèrent à des règles ou à des mesures.

Dans le cas des contrôles mis en place pour une surveillance préventive de la tenue d'une structure, les règles ou les normes font souvent place au retour d'expérience et chaque type de structure implique une méthodologie de surveillance particulière.

La Pyramide du Louvre présente plusieurs caractéristiques remarquables, dès lors que l'on s'intéresse à son évolution dans le temps :

a) Aucun historique

Il ne s'agit pas ici de l'historique de la structure elle-même, mais de l'existence de structures comparables, antérieures. On ne dispose d'aucune donnée susceptible d'aider dans le choix des instrumentations à mettre en place, dans celui de la « normalité » des variations attendues, ...

b) Un nombre important de sous-structures à surveiller

Il suffit de franchir la porte de la Pyramide pour appréhender la complexité de la structure. La transparence du verre fait place à un réseau dense de barres, de câbles, de nœuds, véritable ossature de métal.

c) La présence de trois ensembles appelés à évoluer différemment

La sous-structure en béton, le réseau métallique, la couverture en verre.

Ces trois caractéristiques ont eu des implications importantes sur le choix de la méthodologie et de la technologie de surveillance mises en place.

3 - MÉTHODOLOGIE ET OUTILS ADOPTÉS

3.1 Méthodologie mise en place

Pour surveiller une structure, on peut retenir des méthodologies différentes qui reposent sur des contrôles.

Les caractéristiques de ces contrôles peuvent elles-mêmes être regroupées suivant trois critères :

a) Utilisation d'une seule méthode (par exemple nivellement) ou de plusieurs méthodes apportant chacune des données complémentaires.

b) Utilisation de contrôles continus (par pose d'une instrumentation) ou de contrôles périodiques, ou les deux.

c) Contrôle et recherche des zones sensibles ou contrôle des zones stables.

La méthodologie employée

Les caractéristiques remarquables de la Pyramide du Louvre, exposées au § 2, nous ont contraint à adopter la philosophie suivante :

a) *Utilisation de plusieurs techniques,*

en particulier pour mieux prendre en compte la trilogie béton/métal/verre.

b) *Utilisation d'un contrôle continu dans un premier temps,*

pour permettre d'appréhender les cycles normaux et rapides d'évolution de la structure métallique et de dégager les évolutions irréversibles. Ce contrôle continu a pour but aussi de donner un historique à la Pyramide.

Utilisation en parallèle de contrôles périodiques pour des phénomènes plus lents pouvant être constatés sur le béton ou le verre.

c) Une instrumentation en deux parties :

- une partie en poste fixe, destinée à suivre dans le temps la tenue globale de la structure,
- une partie en poste mobile, qui peut être déplacée pour la recherche et la caractérisation de zones sensibles.

Concrètement, l'adoption de cette méthodologie très diversifiée conduit à utiliser des technologies récentes, tant dans le domaine de l'instrumentation que dans celui des contrôles dimensionnels.

Ces techniques sont décrites dans les paragraphes 4 et 5.

3.2 Outils utilisés

3.2.1 Contrôles continus

80 capteurs ont été mis en place dès l'achèvement de la Pyramide, sur l'ossature en métal et sur l'interface métal/béton.

Ces capteurs, reliés à une centrale de mesure interrogeable depuis nos bureaux centraux à Puteaux, sont :

- Des inclinomètres.
- Des extensomètres.
- Des téléniveaux.
- Des capteurs de température.

Par la suite, l'instrumentation a été complétée par la pose de (6) jauges de déformation.

3.2.2 Contrôles périodiques

Pour compléter les informations ponctuelles données par les capteurs, des opérations topométriques ont été programmées périodiquement.

Enfin, un contrôle par photogrammétrie, portant sur la planéité des faces, a été effectué.

4 - CONTRÔLE EN CONTINU

PAR INSTRUMENTATION EN POSTE FIXE

4.1 Instrumentation

4.1.1 Grandeurs mesurées et capteurs utilisés

Les mouvements de la structure métallique sont caractérisés par les variations de contraintes

et d'inclinaisons apparaissant dans les éléments de la structure métallique.

Les températures sont mesurées à proximité des éléments de la structure, permettant de caractériser les causes des déformations réversibles et d'effectuer les corrections en température de certains capteurs.

La flexion des poutres de la structure Génie Civil a été déterminée, dans un premier temps, par des téléniveaux à horizon liquide.

4.1.1.1 contraintes

Les contraintes sont calculées à partir des allongements relatifs mesurés avec des extensomètres à corde vibrante et des jauges de déformation. L'utilisation des extensomètres à corde vibrante est limitée aux pièces possédant une symétrie axiale. La résolution de mesure est de $\pm 2 \mu\text{m/m}$. Les extensomètres sont compensés en température. Les jauges de déformation sont installées sur des pièces de géométrie complexe. La résolution de mesure est de $\pm 1 \mu\text{m/m}$.

4.1.1.2 Inclinomètres

Les inclinomètres délivrent un signal proportionnel à l'inclinaison qu'ils possèdent par rapport à la verticale terrestre dans un plan. Ils permettent d'observer les modifications d'inclinaison des éléments de la structure. La résolution de mesure est de $\pm 10^{-5}$ Rad. La mesure de l'inclinaison est corrigée en température.

4.1.1.3 Thermocouples

Des thermocouples sont installés à proximité de la structure. Ils permettent de connaître précisément les niveaux de température auxquels sont soumis la structure et les capteurs. La résolution de mesure est de $\pm 0,4^\circ\text{C}$.

4.1.1.4 Téléniveaux

L'instrumentation en téléniveaux s'est avérée inopérante du fait des conditions d'installation inadaptées.

4.1.2 Centrales de mesures

Les mesures sont effectuées par deux centrales de mesures spécialement adaptées aux types de capteurs installés.

Ces centrales assurent les fonctions suivantes :

- l'alimentation des capteurs,
- le conditionnement des mesures,
- l'acquisition des mesures,
- l'enregistrement des mesures,
- le transfert des séquences d'acquisition par modem.

D'autre part, ces centrales permettent d'effec-

tuer des acquisitions à des intervalles de temps variables, et un prétraitement numérique des mesures.

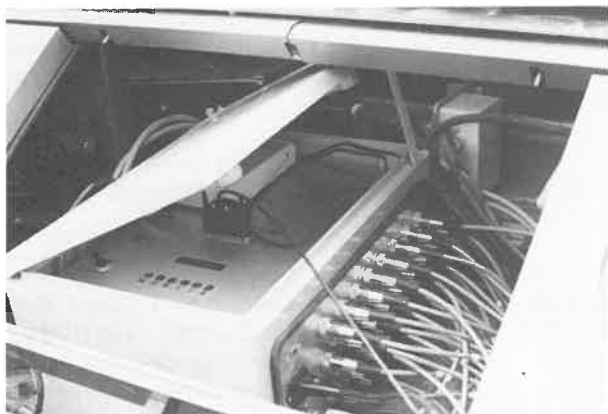


Planche 3. Une centrale de mesure.

4.2 Localisation et choix des éléments

Sur ce type de structure légère, complexe, avec une ossature réticulée, les zones sensibles sont difficiles à appréhender dès la construction car il n'existe pas d'historique sur des structures comparables.

Après discussion avec le constructeur, on a donc défini artificiellement des éléments dits «sensibles», et trois types d'instrumentation ont été mis en place :

- une instrumentation de surveillance, constituée de capteurs en poste fixe, installés dans les zones critiques et dans les zones réputées fixes.
- une instrumentation de caractérisation, constituée de capteurs qui pourront être déplacés.
- une instrumentation de maintenance, constituée de capteurs installés sur des éléments mécaniques nécessitant des actions de maintenance.

L'ensemble de l'instrumentation installée est présenté en planche 4.

4.3 Exploitation des mesures

L'exploitation des mesures répond à deux objectifs :

1. Quantifier l'évolution de l'ouvrage à long terme afin d'assurer sa pérennité.
2. Caractériser les phénomènes journaliers observés sur la structure afin de répondre à des problèmes particuliers d'exploitation, et de mieux comprendre la structure.

L'exploitation des mesures et leur archivage sont réalisés par des logiciels spécifiques déve-

loppés pour le Musée du Louvre.

4.3.1 Evolution de l'ouvrage à long terme

Ce type d'exploitation répond à des préoccupations de surveillance et de maintenance, et a pour but de mettre en évidence les phénomènes irréversibles en éliminant des phénomènes journaliers et saisonniers.

A partir des mesures relevées à heure fixe, le principe consiste à déterminer statistiquement la variation de ces valeurs sur une période de deux années pour chacune des voies de mesure.

4.3.2 Caractérisation des phénomènes réversibles

Quotidiennement, la structure de la Pyramide est exposée à des cas de charges variables, cycliques ou exceptionnels.

Ils sont dus par exemple à la course du soleil, qui crée une action dissymétrique sur la Pyramide, à la mise en marche de la climatisation qui crée des zones chaudes et des effets ponctuels, au nettoyage par les alpinistes qui crée des surcharges locales, ...

Même si toutes ces charges sont prises en compte, par le biais de coefficients de sécurité, dans les calculs, elles induisent, à la longue, des phénomènes de fatigue, et ponctuellement, des sur-contraintes qui peuvent être importantes.

Il est donc nécessaire d'une part, d'en faire l'inventaire, et d'autre part, de les quantifier, pour comprendre le fonctionnement de la structure.

La durée de cette phase préliminaire à celle de recherche des phénomènes irréversibles, a été estimée, sur la Pyramide du Louvre, à trois années, en raison de la complexité de l'ouvrage.

5 - LES CONTRÔLES PÉRIODIQUES

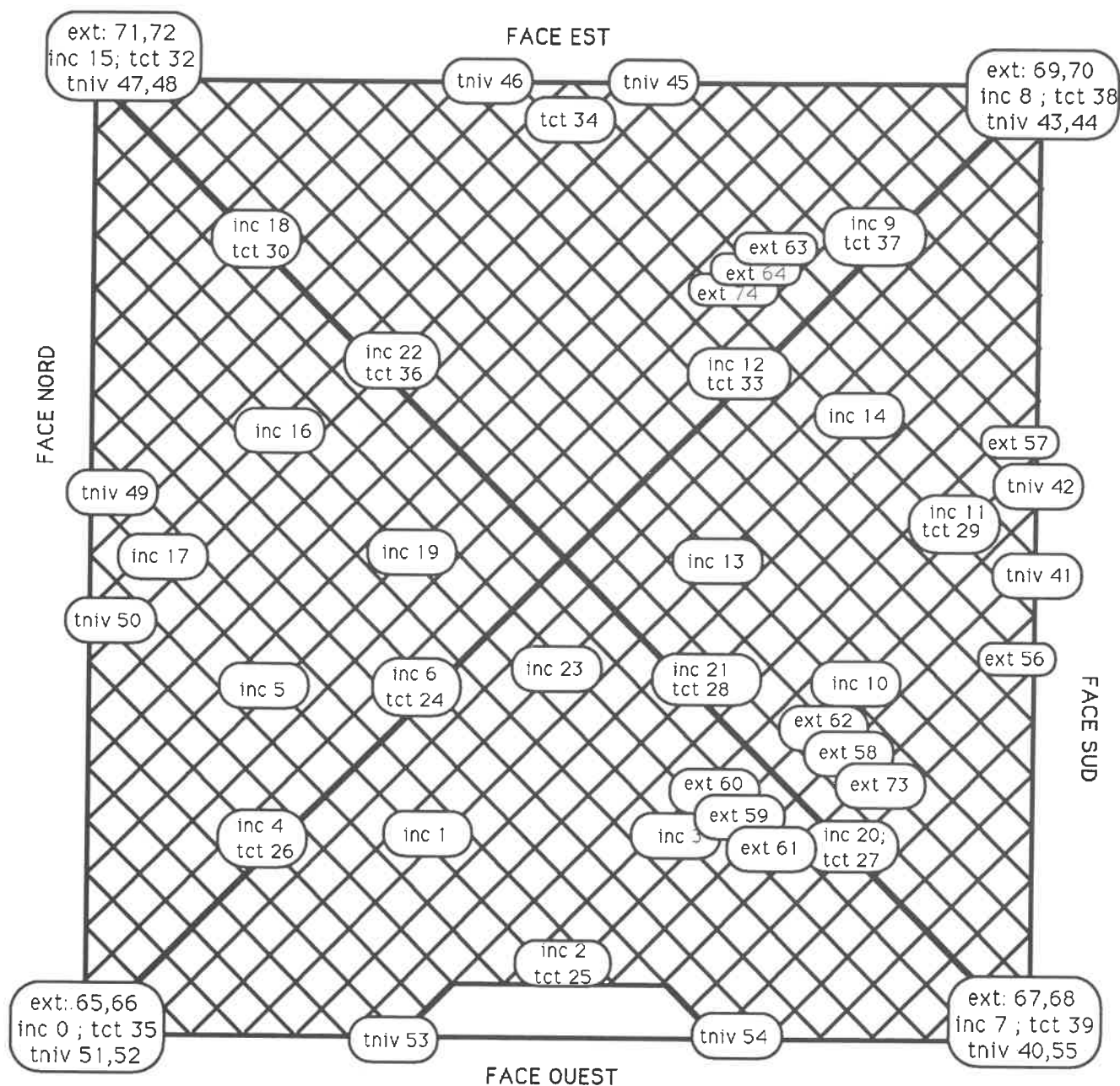
5.1 Définition - Objet

Ces contrôles viennent compléter les précédents et permettent de mettre en évidence, de façon quasi immédiate, le caractère irréversible des variations dimensionnelles de certains éléments sur une période relativement longue.

Les opérations, effectuées suivant une fréquence définie a priori, ou lors d'anomalies constatées par le contrôle en continu, vont permettre de quantifier les mouvements subis et leurs influences sur les éléments voisins (ex : poutre/structure et sous structure/vitrage).



INSTRUMENTATION DE LA GRANDE PYRAMIDE DU LOUVRE



Abréviations:
 ext: Extensomètre
 inc: Inclinomètre
 tct: Thermocouple
 tniv: Téléniveau

Elles s'intéressent à la stabilité du Génie Civil de la structure porteuse, à la géométrie du cadrage et à la planéité des faces.

Ces contrôles nécessitent l'archivage, le plus tôt possible, de l'état «0» de l'ouvrage.

Ils doivent être réalisés avec une bonne reproductibilité, ce qui impose la maîtrise totale des conditions d'intervention.

On utilise pour cela des techniques de métrologie géodésique et photogrammétrique.

5.2 Surveillance altimétrique des poutres-supports

Les mouvements et déformations (induits par le retrait, le fluage du béton ; le tassement différentiel des poteaux...) des poutres porteuses du cadrage inférieur de la Grande Pyramide sont déterminés par des campagnes périodiques de nivellement de précision.

Ces mesures portent sur une vingtaine de points répartis sur les 4 côtés de la base, et sont effectuées à l'aide d'un niveau de haute précision et d'une mire INVAR.

Un dispositif particulier a été mis au point pour matérialiser les points sur les barres du cadrage inférieur.

Enfin, les mesures sont rattachées à l'extérieur de l'édifice, sur des points supposés fixes, en dehors de la zone des travaux.

Ces mesures sont données avec une précision RMS de ± 1 mm.

5.3 Surveillance des mouvements irréversibles de la structure interne par topométrie spatiale

40 cibles de petite taille sont réparties sur l'ensemble des faces intérieures du cadrage.

La détermination des coordonnées (X, Y, Z) de ces points, par rapport à un système de référence lié au Génie Civil, va permettre de juger des mouvements irréversibles de la structure métallique.

Ces opérations sont réalisées à l'aide du système Kern ECDS3 de mesure tridimensionnelle par théodolites.

La précision finale recherchée est inférieure à 1 mm RMS sur le point du sommet qui est le plus éloigné.

Cette prestation est effectuée de nuit (entre 0 h et 5 h), pendant la période de stabilité thermique la plus grande.

5.4 Détermination de la planéité des vitrages par photogrammétrie analytique

Le but de cette campagne d'auscultation est multiple :

- Déterminer la planéité réelle du «revêtement» extérieur de la Grande Pyramide et son évolution au cours du temps.
- localiser les éventuelles dégradations locales des éléments de vitrage.

De plus, lors de la première mesure de ce type, nous avons déterminé l'influence du gradient thermique sur la déformation des faces au cours d'une journée ensoleillée.

Le choix de la méthode de mesure est guidé par les considérations suivantes :

- nécessité d'opérer la mesure dans un intervalle de temps le plus court possible, du fait de la grande souplesse de l'objet,
- nécessité de déterminer simultanément la position de tous les vitrages sur une face,
- précision millimétrique compatible avec les mouvements attendus.

Les récents progrès en matière de photogrammétrie dite à vues convergentes nous ont permis de mettre en œuvre cette technique sur la Grande Pyramide.

La phase «in situ» de la prestation, conduisant au point «zéro» de l'auscultation des faces, est réalisée entièrement en une journée et prévoit les opérations suivantes :

- poste de 2 614 cibles autocollantes à chaque angle de vitrage,
- première campagne de prise de vues à la chambre métrique à raison de 4 points de vue différents par face (matin),
- détermination topométrique de points de calage rattachés à une référence extérieure au bâtiment,
- deuxième campagne de prise de vues (midi),
- dépose des cibles.

L'exploitation de clichés est ensuite réalisée sur monocomparateur. La précision de mesure sur les clichés est de $0,5 \cdot 10^{-3}$ mm.

Les calculs (consistant à assembler les faisceaux perspectifs des différents clichés) fournis-

sent les coordonnées (X, Y, Z) dans le système de référence.

L'exploitation de ces résultats s'est effectuée à plusieurs niveaux :

- exploitation pour recherche de défauts locaux de planéité,
- exploitation globale pour caractérisation de la planéité,
- exploitation comparative (entre mesures à froid et à chaud) pour mettre en évidence les effets du gradient thermique.

Comme pour toutes les opérations métrologiques, cette prestation a été corrélée avec les données recueillies sur les capteurs d'instrumentation pendant l'intervention.

La qualité de la détermination photogramétrique a été prouvée, d'une part par les critères calculés à la suite des ajustements (1mm RMS), mais aussi par la parfaite cohérence sur l'exploitation locale des résultats entre les mesures à chaud et à froid (On a pu constater la bonne reproduction des variations locales de planéité entre les deux opérations effectuées).

Dans un tel cas, le contrôle photogramétrique peut être réduit à la seule prise d'informations (clichés) à intervalles réguliers, l'exploitation de ces clichés n'intervenant qu'en cas de besoin de retracer la «vie dimensionnelle» de l'ouvrage.

6 - CONCLUSION

La méthodologie de surveillance de la structure de la Grande Pyramide du Louvre est présentée dans les chapitres précédents.

Les contrôles, continus ou périodiques, mis en œuvre dans le cadre de cette méthodologie, ont débuté il y a environ deux ans.

Ils ont permis, d'ores et déjà, de quantifier les effets de plusieurs cas de charge intéressants sur la structure :

- la course du soleil, qui induit des efforts très

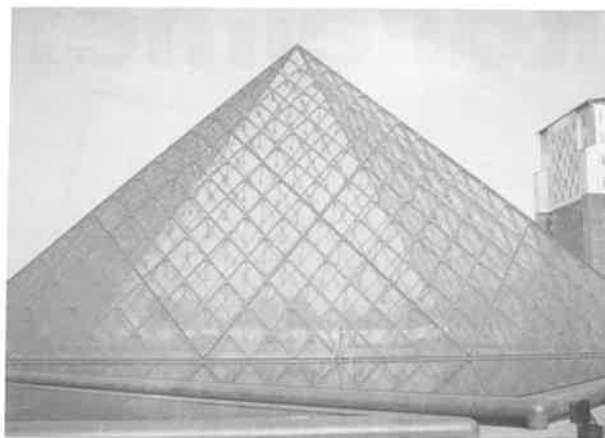


Planche 5. Les 2 614 cibles destinées au contrôle photogramétrique.

dissymétriques,

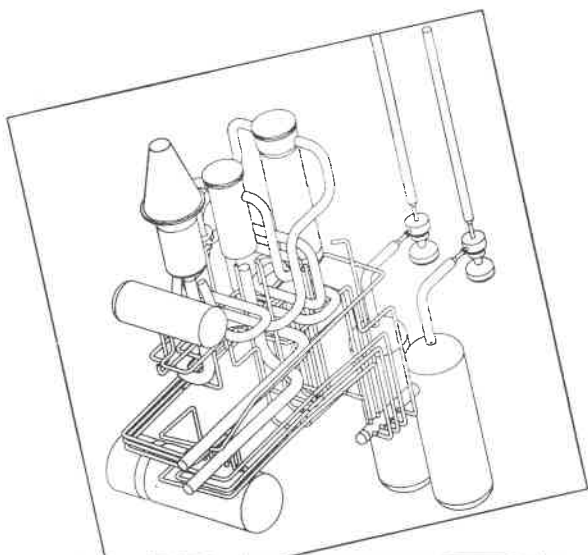
- la variation journalière de température,
- les variations saisonnières de température,
- l'effet des grosses chaleurs rencontrées ces derniers étés,
- l'effet ponctuel du nettoyage de la Pyramide.

Par ailleurs, un point zéro complet (sur les poutres supports, la structure métallique et la couverture en verre) a été effectué par différentes méthodes très précises.

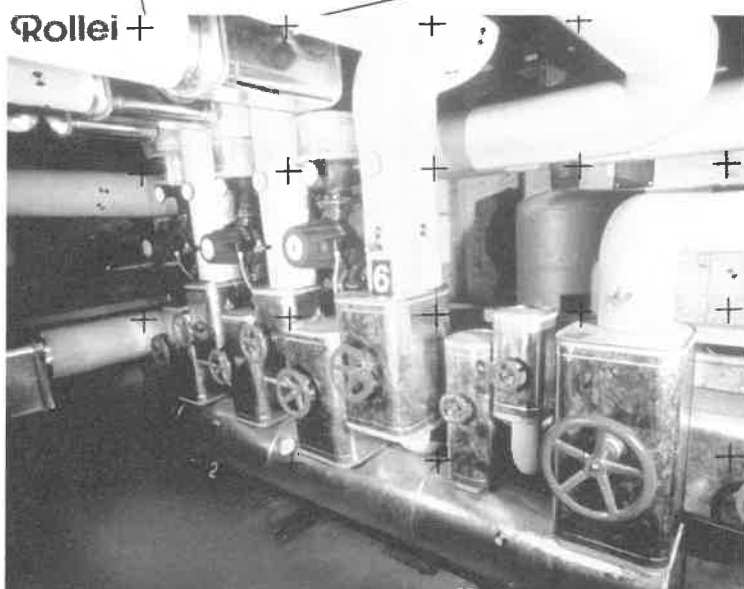
La phase de surveillance des évolutions irréversibles de la structure va donc pouvoir commencer dans les prochains mois ; elle se traduira par un nouveau mode d'exploitation des données, susceptible de différencier les phénomènes «quotidiens» déjà quantifiés, des phénomènes anormaux ou conduisant à une évolution irréversible.

Sur un plan plus général, la méthodologie mise en place et les nombreuses techniques utilisées pour contrôler la structure, illustrent la richesse et la puissance des outils dont disposent actuellement les ingénieurs pour mieux appréhender les risques de dégradation et donc mieux assurer le suivi et la pérennité des structures modernes ou complexes.

Photogrammétrie : Rolleimétric



Photographiez et mesurez en 3 D !



Prise de vues :

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

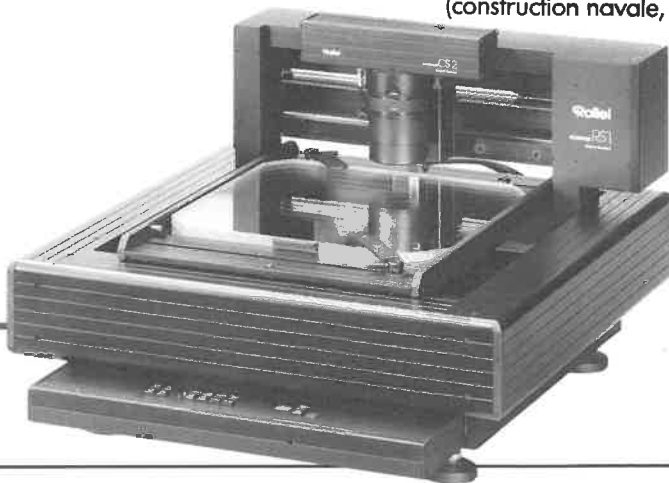
Mesure des clichés :

Le scanner RS1 mono-comparateur "intelligent", automatique.

Le principe original du réseau-scanning permet d'atteindre une précision réelle du micromètre.
Interface CAO/DAO.

Applications industrielles :

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



Bon à découper. Je désire recevoir la documentation Rolleimétric

Nom : _____ Société : _____

Secteur d'activité : _____

Adresse : _____ Code postal : _____ Téléphone : _____

A retourner à Rollei Diffusion - B.P. 41 - 91412 Dourdan Cedex

CONSIDÉRATIONS SUR LES APPLICATIONS ET LA PRÉCISION DU SYSTÈME PHOTOGRAMMÉTRIQUE EN TEMPS RÉEL MNS

Alf Pettersen, Directeur Technique, Metronor AS (Norvège)

Résumé

Un nouveau concept de métrologie utilise des caméras CCD à haute résolution pour mesurer les coordonnées des impacts laser ou des diodes émettrices de lumière. Le système, basé sur la photogrammétrie, est un système de mesure en ligne présentant des résultats immédiats, point par point. Une technique brevetée pour l'étalonnage des caméras, ainsi qu'une analyse très performante des signaux assurent une précision de 0.1 mm pour un volume de mesure de 1.0 x 1.0 x 1.0 m³. Le crayon lumineux, un palpeur mécanique, transforme le système en une machine de mesure de coordonnées qui tient dans la main. Un module CAO permet de relier directement toutes les mesures au modèle CAO comme déviations au point le plus proche. Le système a un grand nombre d'applications dans l'industrie automobile et aérospatiale. Ce rapport traite des limites de précision, des contrôles et du résultat des tests de précision effectués par Volvo et Renault.

I - INTRODUCTION

Le système «Metrology Norway» (MNS) présente un concept totalement nouveau pour la métrologie industrielle. Il s'agit d'un système qui assure une précision satisfaisant la plupart des applications en métrologie, tout en conservant les avantages d'une collecte rapide des données sur un large volume, qui est un système portable et qui garantit une adaptabilité maximum à grand nombre d'applications.

Ce système est développé en coopération étroite avec Volvo, département de technologie de production. Ceci garantit qu'il est conçu pour les besoins industriels.

Le système est basé sur des caméras CCD spécialement fabriquées et étalonnées. L'étalonnage unique en usine transforme chaque caméra en une caméra photogrammétrique pouvant travailler en temps réel. MNS mesure les coordonnées spatiales (XYZ) de diodes émettrices de lumière infrarouge (IR LEDs) spéciales, ou éventuellement, de points de lumière laser IR réfléchi.

II - LE CONCEPT MNS

2.1 Photogrammétrie

MNS est intrinsèquement un système photogrammétrique basé sur des caméras CCD de haute résolution (Videk MegaPlus). Les caméras sont reliées à un ordinateur VME assurant une analyse très performante des signaux et donnant une résolution fractionnaire de 0.01 pixel.

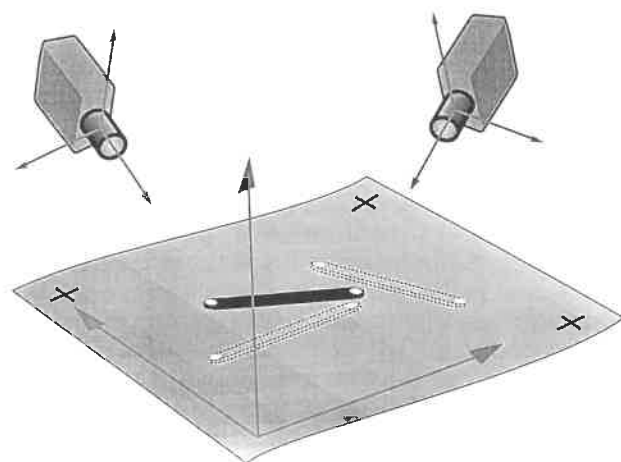


Fig 1. Camera setup and exterior orientation.

Pour obtenir une précision optimale et pour rendre le système aisément opérationnel, les caméras sont étalonnées en usine. L'étalonnage comprend un relevé complet de tous les capteurs, donnant une description détaillée des distorsions optiques, de la géométrie des capteurs ainsi que de leurs défauts. Le résultat de l'étalonnage d'une caméra, c'est-à-dire son orientation intérieure, est stocké dans le système de l'ordinateur et est utilisé pour corriger chaque coordonnée image observée par rapport à celle de la caméra photogrammétrique «idéale». La méthode d'étalonnage est une technique unique, développée et brevetée par Metronor, qui ne sera pas davantage détaillée dans ce papier.

L'étalonnage en usine permet d'utiliser la caméra en tout lieu, sans autre étalonnage durant la mise en œuvre des mesures. Une simple procédure de mise en marche est nécessaire pour

déterminer la position relative des deux caméras et de l'objet considéré :

- Les caméras sont facilement pointées vers l'objet de telle façon que le champ de vision de la caméra recouvre largement le volume qui contient ou contiendra l'objet à mesurer. L'utilisateur peut voir les images prises par les caméras sur un moniteur noir et blanc inclus dans le système.

- L'orientation extérieure des caméras, c'est-à-dire leur position et orientation relative, est déterminée par une barre de référence (Figure 1). La barre de référence contient plusieurs LEDs infrarouges (IR) insérées dans un barreau invar et elle est connectée à la console du système MNS par un câble multi-usages. La barre de référence est dirigée de telle sorte que les deux caméras puissent voir les LEDs. Presser le bouton situé à l'extrémité de la barre entraîne le déclenchement de la mesure. L'utilisateur change ensuite l'orientation de la barre et presse à nouveau le bouton. Pour un résultat optimum, les mesures sont prises à l'intérieur de tout le volume de mesure concerné. Ceci permet une redondance maximum dans les procédures d'initialisation.

- Les positions et orientations des caméras sont ensuite calculées par la méthode d'ajustement des faisceaux. Ceci est essentiellement un traitement par moindres carrés pour ajuster les distances données entre les sources de lumière dans toutes les positions de la barre avec les positions et orientations calculées des caméras. La procédure de calcul donne les écarts maxima et moyens par rapport à la longueur théorique. L'algorithme d'ajustement des faisceaux ne requiert pas de valeurs initiales pour aucun des paramètres à déterminer.

- Les résultats de l'orientation extérieure définissent un système global de coordonnées. Pour relier toutes les mesures à un système local de coordonnées, des points de référence parfaitement connus sont nécessaires. Deux options sont possibles : trois points de référence donnés par leurs coordonnées x, y, z , ou un maximum de six points donnés par le système 3/2/1. Un système de référence 3/2/1 (tri-dimensionnel libre) peut par exemple être donné comme trois points définis par leur valeur z , deux points définis par leur valeur y et le dernier point défini par sa valeur x . Les points de référence sont uniquement des surfaces planes ou des trous. Un instrument simple permettant de mesurer les points de référence est le « crayon lumineux » décrit ci-dessous.

Le système comprend une station de travail UNIX, comportant des logiciels spécifiques à certaines applications et une interface utilisateur.

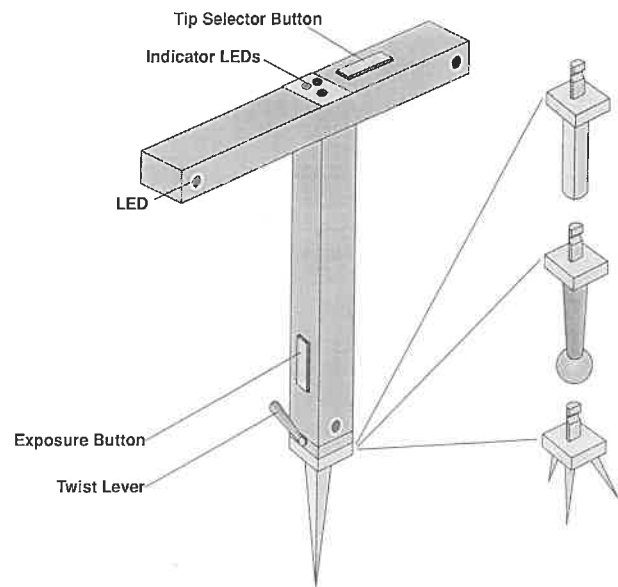


Fig. 2

2.2 Le Crayon Lumineux

MNS possède un système breveté de crayon lumineux (Figure 2) qui fait de lui un système transportable de mesure de coordonnées pour les applications requérant des précisions de l'ordre de 0.1 mm. Le crayon lumineux est un instrument offrant à l'utilisateur la liberté de digitaliser tout point sélectionné sur un objet. L'utilisateur place la pointe du crayon sur le point choisi, s'assure que les caméras peuvent voir les LEDs et presse le bouton d'exposition sur le crayon. Les coordonnées de la pointe du crayon lumineux sont immédiatement affichées sur l'écran de l'ordinateur.

Le crayon lumineux contient trois LEDs dont les coordonnées sont bien connues dans le système de coordonnées local du crayon. Connaissant la géométrie du crayon lumineux, MNS calcule aisément les coordonnées spatiales de la tête de lecture de la pointe du crayon en mesurant les coordonnées spatiales des trois LEDs de ce dernier.

La pointe interchangeable du crayon est analogue à une combinaison sonde/stylet de machine à mesurer les coordonnées. Chaque outil a été préalablement étalonné, soit par Metronor, soit par l'utilisateur, et les coordonnées de la tête de lecture par rapport au système local de coordonnées du crayon sont emmagasinées dans MNS. L'utilisateur peut créer une tête de lecture spécialement adaptée pour des mesures dans des zones difficiles d'accès. Pour prendre la mesure, les caméras n'ont besoin que de voir les LEDs et non la pointe du crayon. Par exemple, si l'utilisateur veut mesurer un point situé en-dessous de la surface d'un objet, une tête de lecture peut être pliée en forme de crochet.

Le crayon lumineux permet les mesures suivantes :

- jeu de coordonnées XYZ,
- distance entre deux points,
- trous - diamètre, coordonnées du centre,
- planéité - distance et angle relatif entre deux surfaces,
- intervalle - distance entre deux lignes ou deux bords.

Le crayon lumineux est un outil important pour mesurer les coordonnées des points de référence.

2.3 Projection de points lumineux laser

Divers systèmes de projection laser sont également disponibles. Le projecteur laser (Laser Projector Gun) est un outil idéal pour les mesures mettant en œuvre des matériaux mous (par exemple ceux que l'on trouve dans les intérieurs automobiles) qui se déformeraient s'ils étaient mesurés avec des méthodes de contact conventionnelles. Comme MNS mesure les coordonnées spatiales des points de lumière infrarouge (invisible à l'œil), le projecteur laser envoie deux lasers visibles en même temps que le laser invisible qui est mesuré. Les lasers visibles sont nécessaires pour déterminer correctement la mise au point et la cible, car il est essentiel que la tache laser soit focalisée le mieux possible pour réduire ou éliminer les effets de tacheture.

Des lasers à point unique, qui sont de simples diodes laser projetant un seul impact à mesurer, sont également disponibles. L'utilisateur monte et dirige individuellement ces lasers pour mesurer des points particuliers sur la surface d'un objet.

Le scanner laser bi-axial est un produit indépendant qui peut être intégré sous contrôle MNS. Il projette un faisceau de lumière laser infrarouge à point unique sur l'objet. MNS mesure les coordonnées spatiales de ce point réfléchi en lumière diffuse. À l'intérieur du scanner se trouve une source laser et deux miroirs - dont l'orientation est contrôlée avec précision, qui dirigent le faisceau sur le point à mesurer sur l'objet. Le scanner reçoit de MNS les commandes de positionnement des miroirs. Il comprend également une fonction de mise au point automatique du faisceau laser.

2.4 Interface CAO

MNS est capable de relier les données de mesure au modèle nominal CAO de l'objet considéré. Ceci s'effectue par la comparaison du point le plus proche (perpendiculaire à la surface) des données physiquement mesurées avec le point correspondant sur la surface nominale CAO.

L'échange des données avec le système CAO est basé sur l'utilisation du format standard VDA-FS d'échange de données géométriques. Le modèle VDA-FS est transféré par une liaison Ethernet et stocké localement dans la station de travail MNS. MNS convertit ensuite ce modèle VDA-FS en une représentation B-spline de la surface.

Durant les mesures des points les plus proches, la représentation CAO filaire apparaît dans une fenêtre sur l'écran couleur haute résolution dans une orientation sélectionnable par l'utilisateur. Une fois la mesure effectuée, les coordonnées XYZ ainsi que le point le plus proche de la référence nominale CAO, sont affichés numériquement et graphiquement sur la représentation filaire CAO.

Le logiciel «Point le plus proche» (Closest Point Software) peut traiter des mesures pour un seul point (applications du crayon lumineux) aussi bien que la mesure simultanée de points multiples (application des projections d'un semis de points).

2.5 Logiciel «Six Degrés de Liberté»

Ce logiciel permet à l'utilisateur de mesurer la position et l'orientation d'un objet par rapport à celles d'un autre objet, ou tout système de référence de base.

III - APPLICATIONS

MNS est un système général de mesure géométrique destiné à des applications industrielles. Son adaptabilité et sa souplesse offrent des solutions à grand nombre de problèmes de mesure.

• Contrôle qualité des découpes (off-line QC) : une des applications premières de MNS est la mesure des emboutissages des pièces d'automobiles (figure 3). Après un changement d'étampe sur une ligne d'emboutissage, quelques premières pièces de la ligne sont examinées pour quantifier les déformations qui existent par rapport à la forme idéale (First-Off stamped part inspection). MNS est une méthode plus rapide et plus efficace pour cette opération, en éliminant le recours à des appareillages de référence coûteux. L'utilisation du crayon lumineux pour la mesure du point le plus proche permet d'obtenir un tracé rapide de toutes les déviations par rapport au modèle CAO.

• Mesure des déplacements et des déformations : MNS est également utilisé comme technique pratique pour mesurer des déplacements relatifs dans l'espace. Ceci est très utile pour quantifier les déformations en tant que fonction de diverses forces. L'une des applications est la vérification et l'étalonnage des modèles d'ordi-

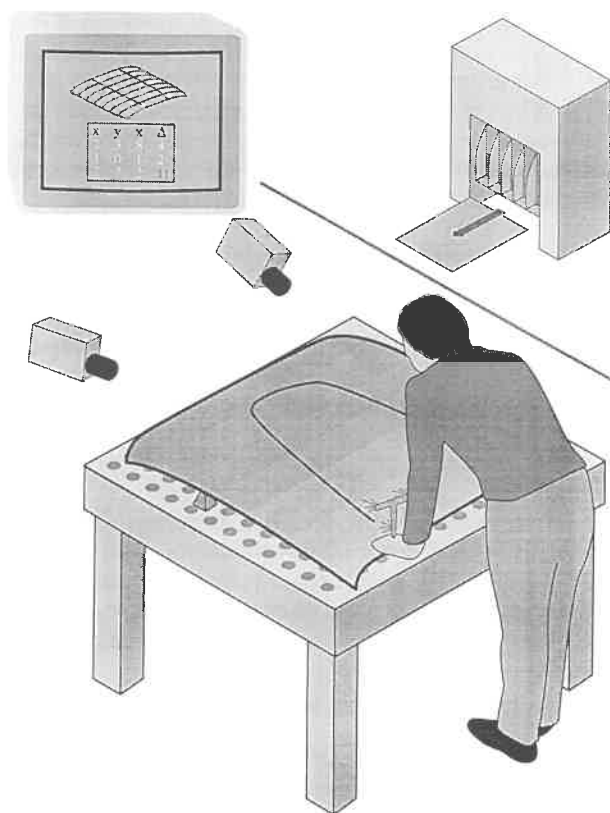


Fig. 3. Off line quality control.

nateur, générés par la méthode des éléments finis, pour les carrosseries. L'exemple montré dans la figure 4 est celui de la mesure de la variation de la ligne de découpe d'une porte de véhicule, la carrosserie étant soumise à diverses forces. D'autres applications sont possibles pour les tests de collision.

Des séries de diodes lumineuses (LED) réutilisables sont collées sur l'objet à des endroits choisis. MNS mesure simultanément le déplacement individuel de chaque LED à une fréquence de mesure maximum de 2 Hz. Les mesures sont initialisées par l'opérateur sur le clavier MNS, ou déclenchées extérieurement par un signal TTL pour synchronisation avec les forces appliquées.

- **Assemblage de prototype :** MNS a la capacité de mesurer la position et l'orientation d'objets par rapport à tout système de référence de base défini par l'utilisateur. L'exemple de la figure 5 montre la détermination de la position et de l'orientation d'une aile pendant l'assemblage du prototype. Le système de référence devra être le système de coordonnées de l'automobile. Trois LEDs sont fixées sur l'aile. MNS est capable de mesurer et de stocker instantanément l'emplacement de ces LEDs par rapport au système de coordonnées de l'aile qui est défini par des points de référence, comme décrit dans la section 2.1. Ces

LEDs agissent alors comme des points de référence de secours pour le processus d'assemblage. Pour effectuer les mesures par rapport au système de coordonnées de l'automobile (en utilisant de nouveaux points de référence), MNS est capable de déterminer la position actuelle du pré-assemblage de l'aile et l'orientation par rapport au système de coordonnées du véhicule en contrôlant les LEDs.

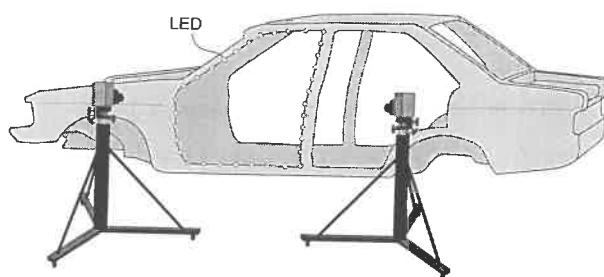


Fig. 4. Measurement of physical displacements.

- **Digitalisation des surfaces à forme libre :** MNS peut rapidement numériser un modèle entier de carrosserie automobile en utilisant un scanneur laser (Section 2.3) comme le montre la Figure 6.

Le scanneur laser envoie pas-à-pas un point de lumière laser infrarouge sur la surface du véhicule. La distance linéaire d'incrémentement (distance entre les points individuels) peut être définie par l'utilisateur ou MNS peut adapter l'incrémentement à la courbure de l'objet. La vitesse d'acquisition des données sera en général légèrement inférieure à deux mesures par seconde, ou approximativement 5 000 points à l'heure.

L'utilisateur peut placer le scanneur laser à sa position optimale en fonction des dimensions et de la forme de l'objet. MNS peut calculer la position du scanneur, comme dans l'initialisation photogrammétrique utilisée pour déterminer la localisation des caméras, en envoyant des commandes angulaires pré-définies aux miroirs du scanneur et en mesurant les positions XYZ correspondantes de l'impact sur le véhicule.

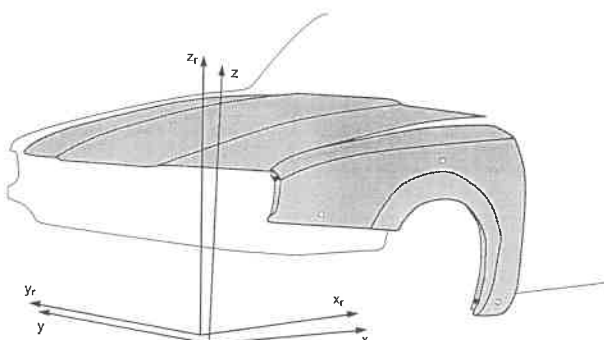


Fig. 5. Measurement of object position and orientation.

Le crayon lumineux permet de donner des informations complémentaires non négligeables en digitalisant les lignes particulières et les discontinuités (trous, bords).

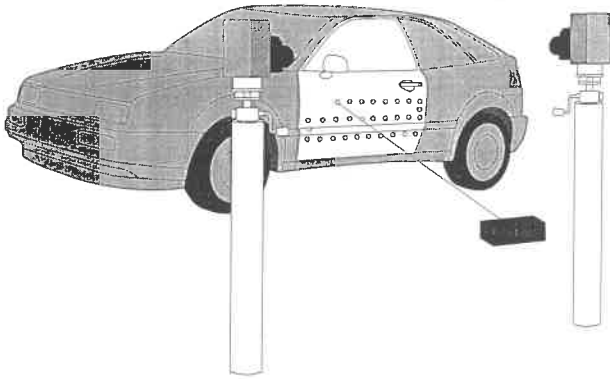


Fig. 6. Digitizing of car body.

- Contrôle en continu des étampages : en projetant un grand nombre de points laser (semis) sur une surface, MNS peut dessiner toute déviation par rapport au modèle CAO en quelques secondes.

- Contrôle des cellules de production :
 - alignement des installations
 - alignement des outils d'emboutissage et d'étampage.

- Programmation des robots.

- Test en soufflerie : Mesure avec six degrés de liberté, numérisation.

IV - LIMITES DE PRÉCISION

La précision des mesures du Système MNS dépend des éléments suivants :

- Résolution des capteurs : les matrices CCD MegaPlus comportent 1350 x 1035 pixels. Cependant, en utilisant une analyse statistique des images du point, une résolution fractionnaire de 0.01 pixel est obtenue. Cette résolution de grande qualité dépend de l'optimisation de la dimension du point lumineux (c'est-à-dire sa qualité optique) et du rapport signal/bruit (c'est-à-dire le contrôle d'exposition).

- Etalonnage de la caméra : il permet de considérer la caméra comme une caméra photogrammétrique idéale, l'orientation interne de cette dernière étant déterminée une fois pour toutes.

- Géométrie des mesures : la répétabilité est proportionnelle à la dimension du volume à mesurer. Une petite intersection angulaire produit une précision médiocre en éloignement (selon l'axe moyen). Un système à deux caméras donne toujours une meilleure précision verticale du fait de la redondance. L'introduction d'une troisième caméra augmenterait la précision de façon significative.

- Application : pour celles du crayon lumineux, la précision dépend de la dimension et de la forme du crayon lumineux en fonction du volume de la mesure et de la distance de la pointe du crayon à la source de lumière. Pour obtenir une précision maximum dans les applications laser, le laser est focalisé jusqu'à élimination de tout problème de tacheture. Des démonstrations de mesures de précision ont été faites pour des matériaux difficiles, comme l'acier non peint, l'aluminium et les plastiques noirs.

V - TESTS DE PRÉCISION

La précision et la sûreté des mesures étant les points cruciaux de ce système, la précision peut être vérifiée par différentes méthodes :

- Etalonnage de la caméra : l'instrument de référence utilisé pour l'étalonnage de la caméra vient du National Bureau of Standards. Sur l'ensemble du capteur, chaque pixel est calibré en fonction de ses variations et de ses défauts.

- Vérification de la précision in-situ : la barre de précision utilisée pour déterminer l'orientation extérieure a une longueur dont la précision est garantie à 3 μm . Chaque procédure de mise en place se termine par un affichage de la précision durant l'installation, par comparaison de la valeur mesurée à la valeur garantie. Mesurer la longueur de la barre de référence à tout endroit, à tout moment après une initialisation, permet de vérifier que la position spatiale calculée et l'orientation de la caméra sont toujours bonnes. Il n'est pas possible d'effectuer des lectures de distance correctes, en toute position arbitraire dans le volume de mesure, si des erreurs sont intervenues et influencent la précision ou la mise en place des caméras.

- Test du système suivant les instructions VDI : le crayon lumineux permet de vérifier la précision du système par des méthodes utilisées par les machines à mesurer, suivant les instructions du VDI Allemand (VDI/VDE 2617). MNS est le seul système photogrammétrique ayant cette particularité. Celle-ci permet la vérification entière de la précision 3D.

VI - TESTS DE PRÉCISION RENAULT/VOLVO

Des tests de précision minutieux ont été effectués en avril 1991. Ils furent effectués après qu'une nouvelle solution ait été trouvée en ce qui concerne les erreurs systématiques. Les améliorations qui s'ensuivirent ont abouti à une diminution d'environ 30% des erreurs systématiques. La procédure de test suit les normes Renault pour les tests de machines à mesurer.

Le système a été installé pour un volume de mesure de $1.0 \times 1.0 \times 1.0 \text{ m}^3$ minimum. L'angle d'intersection de la caméra est d'environ 60 degrés.

Les résultats les plus significatifs de ces tests, exprimés en erreurs U95 (soit environ 2σ) ont été les suivants :

Répétabilité des mesures au crayon lumineux meilleure que :

- dans le plan (horizontal) de la caméra : 0.077 mm
- verticalement : 0.020 mm

Mesures de longueur verticales, de 0 à 300 mm, en cinq points du volume de mesure :

- précision : 0.028 mm

- incertitude des mesures : 0.092 mm

Mesures de longueur de la barre diagonale, sur les quatre diagonales du volume de mesure, longueur de la barre 1000 mm :

- précision : 0.054 mm
- incertitude des mesures : 0.178 mm

Ces valeurs représentent la dispersion statistique des mesures sur les deux côtés de la barre. Les résultats montrent que les écarts systématiques sont très petits. Les travaux futurs seront concentrés sur l'amélioration de la répétabilité.

VII - CONCLUSION

MNS est le seul système photogrammétrique «on line» constituant un système de mesure de coordonnées qui satisfait les spécifications de précision exigées par l'industrie automobile pour les mesures de carrosserie.

Cette grande précision, ainsi que la portabilité du système, en font un instrument unique pour grand nombre d'applications qui sont hors de portée des systèmes actuels de mesure de coordonnées.

ASSUREZ VOS POSITIONS... PAR SATELLITES GPS

Aujourd'hui GEO.SAT vous offre la productivité : 8 points par jour avec la précision centimétrique en X,Y,Z

GEO.SAT met à votre service :

- matériels : 3 récepteurs GPS, calculateur, véhicule
- opérateur : topographe spécialement formé à la technique du GPS
- compétences : pour réaliser vos triangulations, stéréopréparations, densification de canevas, etc...

POSITIONNEZ-VOUS... en réservant dès aujourd'hui

Attention : nouvelle adresse

GEO.SAT 2 bis, Parc BUROSPACE - 91571 BIEVRES CEDEX
Tél. : (1) 69.41.27.88

Fax : (1) 69.41.28.20

ÉTUDE MICRO-GÉODÉSIQUE DE STRUCTURES SOUTERRAINES DANS L'ARGILE À GRANDE PROFONDEUR

*J.J. Derwael, Géomètre, Studiegroep Omgeving, Mortsels et
B. Neerdael, Ir. Centre d'Etude de l'Energie Nucléaire (CEN), Mol.*



1 - LE PROJET HADES

1.1 Introduction

Le Centre d'étude de l'Energie Nucléaire (CEN/SCK) a entrepris dès le milieu des années 70 la réalisation d'un programme de Recherche et Développement sur l'enfouissement, en formation géologique profonde, des déchets radioactifs conditionnés.

Le projet dans son ensemble est soutenu financièrement par plusieurs organismes, entre autres la Commission des Communautés Européennes et ONDRAF/NIRAS, l'organisme national pour la gestion des déchets radioactifs et des matières fissiles.

Le choix de la formation géologique adéquate s'est porté sur une couche d'argile tertiaire, l'argile de Boom, présente sous le site nucléaire de Mol - Dessel à une profondeur moyenne de 230 m et présentant une épaisseur de l'ordre de 100 m.

Après plusieurs années d'études tant en laboratoire que sur le terrain à faible profondeur (région de Boom/Terhaegen), la construction d'un

Résumé

Le programme d'investigations développé par le CEN/SCK dans le cadre du projet HADES (High Activity Disposal Experimental Site) est en grande partie réalisé à partir d'une installation souterraine totalisant actuellement 100 m de galeries et située à 223 m de profondeur dans la formation argileuse de Boom à Mol.

Il a été conçu pour acquérir les données nécessaires à l'évaluation de la faisabilité technico-économique et de la sécurité à long terme d'un dépôt de déchets radioactifs conditionnés dans une formation argileuse profonde.

Cette communication fait une synthèse des mesures micro-géodésiques réalisés dans le cadre de la construction et du comportement à long terme d'une galerie de démonstration pourvue de différents types de revêtement à caractère plus ou moins expérimental.

laboratoire souterrain a été entreprise pour permettre :

- d'une part la réalisation d'essais in situ devant lever les incertitudes ou objections provenant des conditions expérimentales considérées jusqu'alors pour les domaines déjà investigués expérimentalement (transfert thermique, corrosion, migration, ...),

- d'autre part le développement d'autres aspects qui n'avaient pu être qu'initiés (tunnelling, (thermo)-mécanique, colmatage, rayonnement, ...) et cela jusqu'à la démonstration à échelle réelle qui a dans certains cas déjà démarrée et qui sera à la base de la construction d'une installation pilote future.

L'ensemble des installations souterraines HADES, opérationnel depuis fin 1987, est illustré à la figure 1; on y trouve :

- le puits d'accès de 215 m de profondeur et de 2,65 m de section utile (1980/1982), revêtu de béton ainsi qu'une chambre d'accrochage à sa base, de 15 m de haut et de 4 m de section utile,

- une galerie laboratoire (URL) de 35 m de long

(1983) construite, tout comme le puits et la chambre, par congélation du massif argileux. Elle est revêtue de fonte sur les 26 m «utiles» en section 3,5 m. Des ouvrages expérimentaux (puits/ galerie) y sont connectés ; ils ont été réalisés (1984) en petite section (1,4 m utile) pour étudier le comportement du massif «vierge»,

- une galerie de démonstration en 3,5 m de section utile mais construite sans congélation ni autre traitement préalable du massif et revêtue de béton (64 claveaux de 60 cm d'épaisseur par anneau, 3 anneaux par mètre) sur une longueur de 42 m. Elle se termine encore par des tronçons de même diamètre dits «expérimentaux» pour ce qui concerne le comportement des revêtements testés (12 m en cintres métalliques coulissants suivi, après une zone «tampon» en claveaux de béton, d'un front hémisphérique gunité sur une épaisseur de 15 cm seulement).

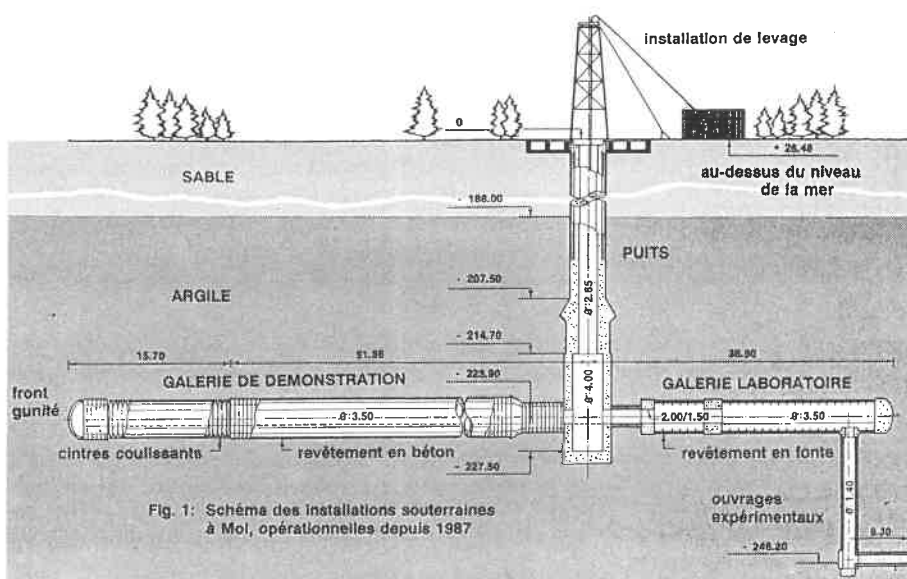


Fig. 1

La zone en cintres a été réalisée à Mol pour l'ANDRA (Agence Nationale pour la gestion des Déchets RADIOactifs), agence établie à Paris.

Le suivi du comportement des différentes sections composant la galerie de démonstration fait essentiellement l'objet des mesures qui sont à la base de cette communication. En complément, il sera fait référence à des mesures de verticalité en forage.

Chacun des tronçons concernés a été équipé, outre des repères de nivellement, profils et autres points de référence nécessaires aux mesures de déformations, de capteurs de mesure divers à caractère géotechnique qui permettent dans la plupart des cas (convergence, déplacement) de com-

parer les deux types de mesures ainsi effectuées. Nous passons dans les paragraphes suivants successivement en revue ces différentes mesures géotechniques, et cela tronçon par tronçon.

1.2 Caractéristiques de l'argile de Boom

L'argile de Boom sous le site de Mol se comporte comme une argile surconsolidée (OCR=2.4). Sa teneur en eau varie de 23 à 26 %; le poids volumétrique humide est en moyenne de 20 kN/m³. Les pressions de gonflement peuvent atteindre 0.9 MPa. Les limites d'Atterberg sont de 65 à 70 % pour la liquidité et de 20 à 25 % pour la plasticité, conduisant à un indice de plasticité voisin de 50 %.

Cette argile «fortement plastique» a une cohésion de 0.8 à 1 MPa et un angle de frottement de 4° ; le module d'élasticité peut être estimé in situ à des valeurs de l'ordre de 300 à 350 MPa. La perméabilité indiquée par différents test en laboratoire et in situ sur échantillons reconsolidés est en moyenne de 3 10⁻¹² m/s.

1.3 Galerie «Béton»

La galerie dite de démonstration, d'un diamètre utile de 3,5 m, est revêtue de claveaux de béton de 60 cm d'épaisseur, calculés pour reprendre l'entièreté des pressions de terrain à cette profondeur (223 m).

Parmi le programme intensif de mesures qui a été associé à sa construction et qui fait toujours l'objet de suivi à long terme pour quantifier la zone perturbée autour de la galerie, on retiendra ici en particulier les mesures de convergence du revêtement et les contraintes exercées sur celui-ci.

Celles-ci permettent d'estimer la rigidité du revêtement, paramètre important pour la modélisation du comportement des structures souterraines dans un tel matériau.

La mise en pression (par convergence du massif et après colmatage des vides éventuels) des claveaux de béton posés manuellement contre la paroi, non boulonnés et séparés par des intercalaires de bois compressible amène des modifications (mise en place des blocs, comportement du matériau de colmatage, ovalisation, ...) qu'il

est intéressant de suivre afin d'en déduire des informations notamment sur le champ de contraintes en argile. Les mesures de pressions sont réalisées par cellules hydrauliques placées radialement à l'extrados des claveaux et par des cellules de charge, aussi hydrauliques, à l'intérieur du revêtement.

1.4 Galerie «Cintres»

Une galerie expérimentale de 12 m revêtue de cintres miniers mais coulissants (3 par mètre) a été réalisée pour l'ANDRA en application, de la théorie convergence/confinement.

La convergence n'a atteint à ce jour que 2.5% en moyenne et aucun risque d'instabilité (flambage par exemple) ne s'est concrétisé en 4 ans, ce qui, pour les conditions expérimentales ici considérées, est tout à fait encourageant pour le développement ultérieur d'un tel système dont le grand intérêt est de faire participer le massif au revêtement, revêtement dont le dimensionnement peut ainsi se faire pour une fraction seulement de la pression au sein du massif.

Plus de 400 points de mesure ont été placés ; la fréquence des mesures est passée en 4 ans de journalière à trimestrielle apportant un ensemble considérable de données.

1.5 Zone Tampon Béton

Le revêtement en cintres dont il vient d'être question a l'inconvénient dans sa conception actuelle de ne pas pouvoir reprendre d'efforts longitudinaux, les cintres étant simplement reliés par des entretoises métalliques.

Une zone tampon s'avérerait dès lors nécessaire pour reprendre par frottement à la paroi extérieure, la poussée venant du front, et cela en dépit d'un «joint» d'une vingtaine de centimètres aussi prévu entre le front et ce tronçon autorisant un déplacement non négligeable avant poussée axiale sur la zone «tampon» et donc in fine sur la galerie en cintres. Cette zone de 2 mètres de long a été revêtue en claveaux de béton similaires à ceux de la galerie «béton» décrite en 1.3.

1.6 Front terminal

Le front hémisphérique a été stabilisé temporairement, à titre expérimental, par de la gunite ou béton projeté sur une relativement faible épaisseur (15 cm environ). Le comportement et en particulier le mouvement du front a été régulièrement contrôlé par mesures de distances (EDM) et les déplacements dans le terrain suivis par mesures extensométriques.

Quinze réflecteurs optiques, dont un en tête d'extensomètre, ont été placés sur des supports ancrés à la paroi sur 30 cm (soit 15 cm dans l'argile) pour suivre le déplacement d'ensemble à partir d'une station fixe quelque 17 mètres en amont.

Un extensomètre multi-points en fibre de verre (GLOETZL) permet de mesurer les déplacements au sein du massif, à des distances de 2, 4, 7 et 10 m de la coque de gunite.

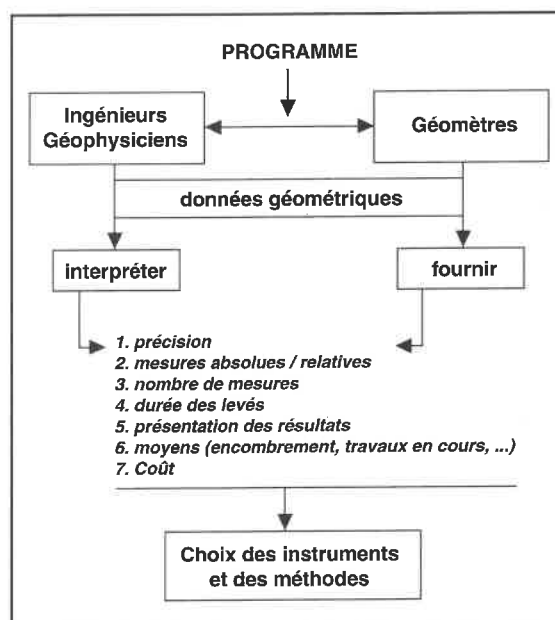
Les points à 7 et 10 m dans le massif pouvant être considérés comme fixes, la mesure de leur déplacement correspond au mouvement de la «tête» d'extensomètre et donc du réflecteur correspondant ou encore à la moyenne des déplacements des réflecteurs optiques du front.

2 - MESURES MICRO-GÉODÉSQUES

2.1 Introduction

Il est indispensable d'établir, au préalable, le programme des levés. Le dialogue entre les géophysiciens (qui doivent interpréter les résultats) et les géomètres (qui fournissent les données géométriques) est fondamental.

Le choix des instruments et des méthodes est fonction de nombreux éléments tel que précision, type de mesures, moyens mis en œuvre ...



Il est également important que, durant les opérations, les différents intéressés comparent et évaluent les résultats, en tirent les conclusions afin de modifier et d'améliorer les travaux en cours.

2.2 Etablissement du programme

Suite aux discussions préalables le programme fut établi comme suit.

1. Mesures "topométrie"

1.1 Réseau de "surface"

1.2 Réseau "galerie"

1.3 Raccord surface - galerie

2. Mesures "déformation"

2.1 Galerie "béton"

- mesure de profils

2.2 Galerie "cintres"

- déformation longitudinale
- nivellement

2.3 Front terminal

- déformation du front hémisphérique

2.4 Mesures de verticalité en forage

2.3 Exécution du programme

2.3.1 Mesures «topométrie» (fig. 2)

L'appui topographique aux travaux de génie civil, lors de la construction de la galerie de démonstration, peut se résumer comme suit :

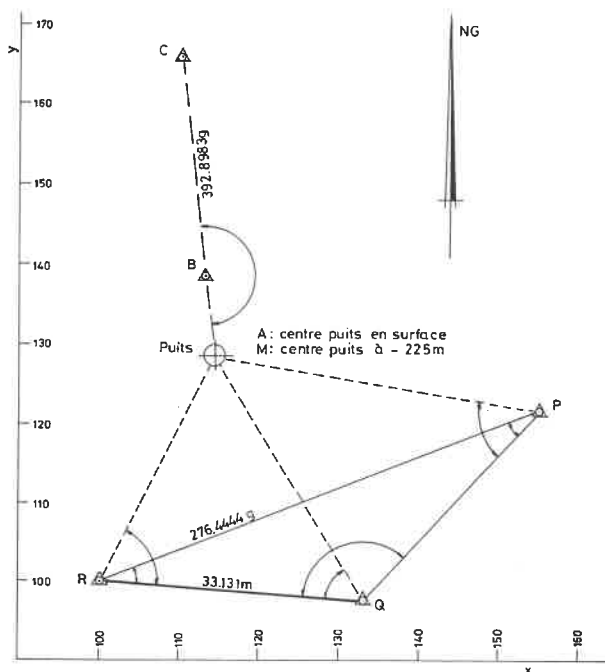


Fig. 2

● Réseau de «surface»

Celui-ci se compose de trois repères situés autour du puits. (points P, Q et R). Les coordon-

nées des points de repères ont été déterminées dans un système local.

● Réseau «galerie»

Les repères B et C situés dans la galerie laboratoire constituent la base de départ pour la construction de la galerie de démonstration.

● Raccord «surface» - «galerie»

Le point A (centre du puits) dont les coordonnées furent déterminées à partir des points P, Q, R a été rabattu à l'aide d'un théodolite WILD T2 équipé d'un oculaire coudé. Cette opération délicate, vu les problèmes de visibilité et de réfraction dans un puits d'une profondeur de 225 m et d'un diamètre de 2.65 m, fut réalisée avec une précision de 10 mm.

Les directions R - P (surface) et B - C (galerie) ont été déterminées au Gyroscope Wild GAK1 monté sur théodolite Wild T2.

2.3.2 Mesures de déformation

Lors de la construction des galeries les techniciens des différents laboratoires et entreprises effectuèrent des mesures de «déformations relatives» le but des mesures «micro-géodésiques» est de déterminer les «déformations absolues» et ce afin de pouvoir comparer, voire adapter, les résultats obtenus ; dans ce but les mêmes repères ont été employés par les différents utilisateurs.

2.3.2.1 Galerie «béton»

Répartis sur une longueur totale de 40 m la déformation absolue de 7 profils a été mesurée en x, y et z. Les mesures ont été exécutées durant une période de 6 mois, chaque profil a été contrôlé 8 fois.

● base de départ

C'est depuis la galerie laboratoire (1983), considérée comme stabilisée, que toutes les mesures de contrôle ont été faites (point de départ B, direction B - C).

● polygonale de référence

Ligne polygonale formée par les points B, J, K et L. (Fig. 3).

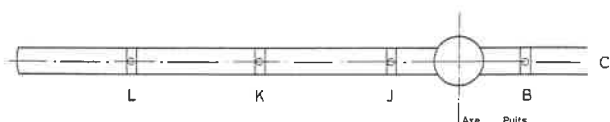


Fig. 3

- matérialisation, poutre en acier pourvue d'une plaque en laiton avec alésage 30 mm. (Fig. 4).
- les distances entre les points sont égales afin de pouvoir employer un seul et même fil d'invar.

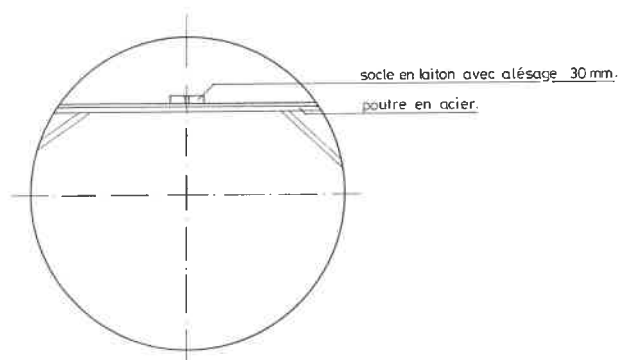


Fig. 4

- mesures d'angles théodolite Wild T2.
- mesures de distances Distinvar.

● potences murales

Les potences se composent de deux parties : (Fig. 5).

- plaque murale à fixer contre la paroi de la galerie en fonction de l'avancement des travaux
- potence amovible fixation à la plaque murale par queue d'aronde et vis de serrage. La potence est pourvue d'une base de référence avec sphère.

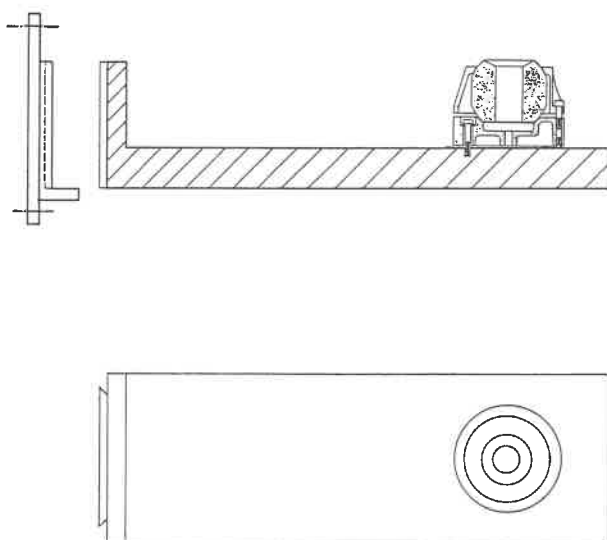


Fig. 5

Les potences sont remesurées lors de chaque mesure de profils avec rattachement à la galerie laboratoire. La localisation des potences est tel que 3 fils d'invar (longueur 2,80 m, 4,50 m et 5,30 m) permettent d'exécuter les levés par trilatération.

Depuis les potences, les profils furent mesurés par intersection. (Fig. 6).

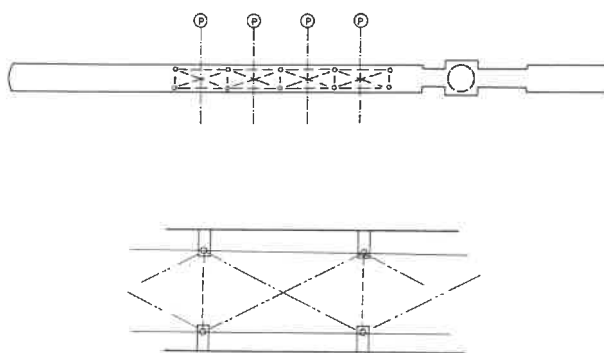


Fig. 6

● Résultats

Le déplacement de 5 repères par profil a été calculé en x, y et z.

A partir des différences en x et z nous avons déterminé un vecteur de déplacement dans le plan du profil, les différences en y donnent le mouvement des points par rapport à l'axe de la galerie. (Fig. 7 et 8).

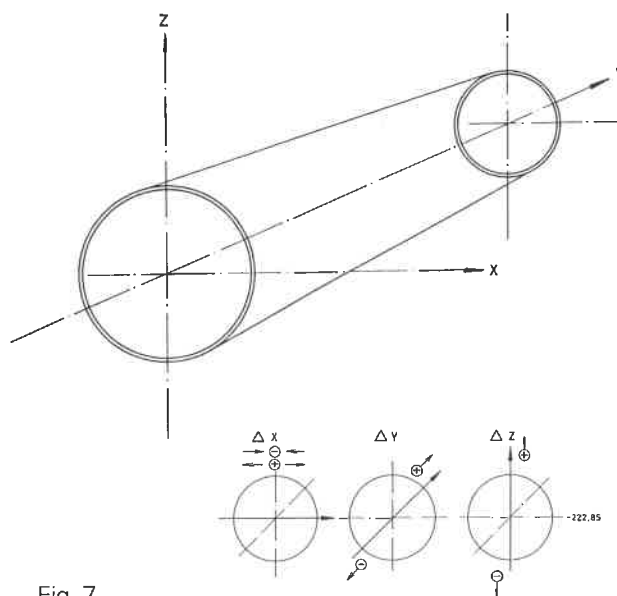


Fig. 7

2.3.2.2 Galerie «cintres»

● Déformation longitudinale

Sur une longueur d'environ 12,50 m la galerie se compose de cintres coulissants, afin d'en déterminer la déformation des mesures de distances ont été effectuées.

De part et d'autre de cette galerie des repères (3 x 2 repères) furent fixés dans les blocs de béton. Les repères sont des potences fixes avec alésage 30 mm, celle-ci permettent de mesurer les changements de longueur avec le Distinvar. (Fig. 9).

● Nivellement

Afin d'obtenir des données absolues nous avons nivelé régulièrement les mêmes repères (plots en laiton) fixés sur les cintres. Le nivellement fut exécuté au niveau Wild N3, avec lecture sur mire industrielle invar, par rapport à un repère situé dans le puits.

2.3.2.3 Front terminal

Le contrôle de la déformation du front terminal se fait sur 15 repères répartis sur la surface du front. Les mesures se font depuis le dernier point de la polygonale par levé polaire (théodolite Wild T16 et distancemètre Wild Di 1000). (Fig. 10).

Avant et après chaque série de mesures nous avons étalonné le distancemètre entre les points. L - K - J. (Fig. 11).

2.3.2.4 Mesures de verticalité en forage

Pour la mesure de verticalité de forages nous avons employé le prisme objectif monté sur un théodolite Wild T2. Une cible éclairée est introduite dans le forage et suivie au théodolite.

Ces mesures, effectuées depuis 2 ou 3 stations situées autour du forage, permettent de calculer le centre du forage à différentes profondeurs.

PRISES DE VUES AERIENNES



AVIONS RAPIDES
COUVERTURE
EUROPEENNE
2 EQUIPAGES:
365 JOURS SUR 365
MATERIEL FMC

A D R E S S E

APEI
Aérodrome de Moulins
03400 YZEURE
Tél. 70 20 63 67
Télex: 980 882 - Fax: 70 20 84 87

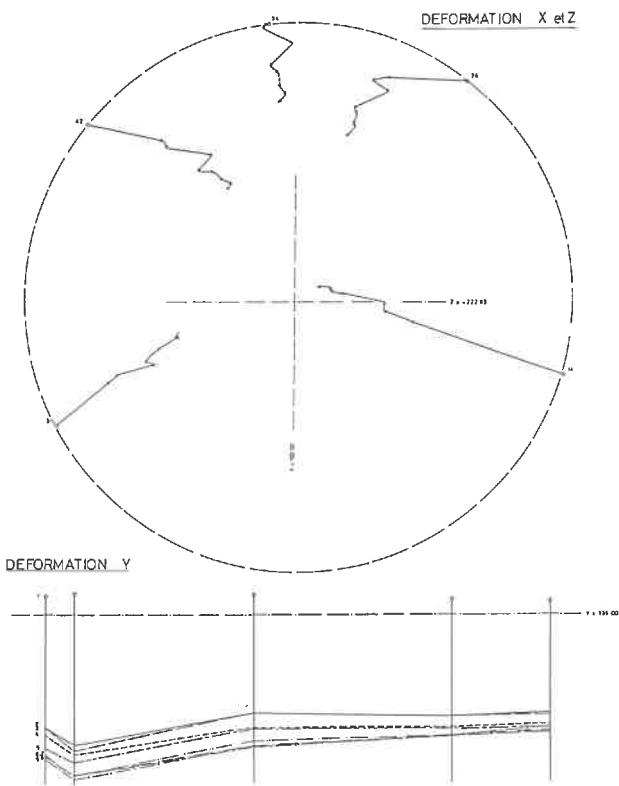
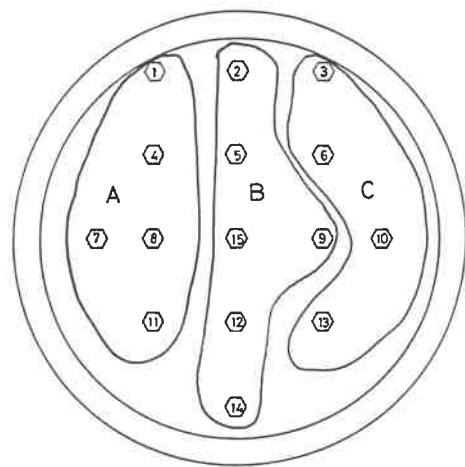


Fig. 9

Fig. 8



Deformation du front
entre le 16.12.87 et le 13.11.91

Zone A	178 mm
Zone B	217 mm
Zone C	229 mm

Fig. 10

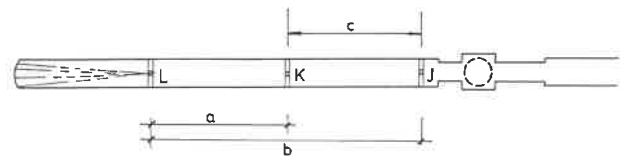
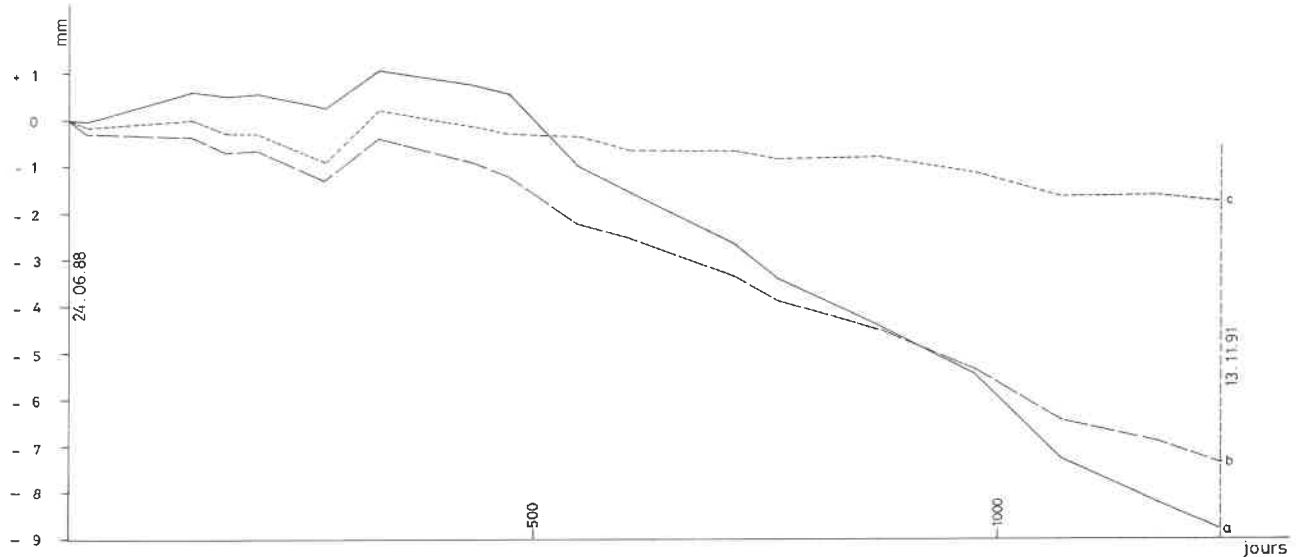
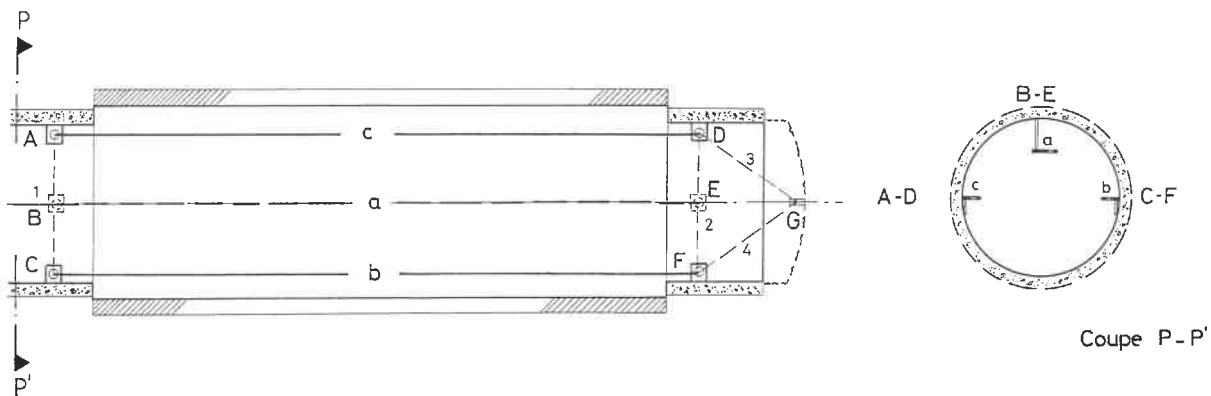


Fig. 11





PRESENTE...

INFORMATIONS LOCALISEES...

Lettre mensuelle de 20 et bientôt 24 pages diffusée par abonnements proposant une information dense, fiable, sans complaisance sur les SIG : techniques, méthodes, enquêtes, expériences, réflexions...

Quelques thèmes abordés :

- ~ Les bases de données dans les petites communes.
- ~ Les projets à plusieurs participants.
- ~ La conduite de projets SIG.
- ~ Comparaison des modes de saisie vecteur et raster.
- ~ L'archivage de données géographiques...

Un exemplaire envoyé gratuitement sur simple demande
(Tél : 85.39.40.80 - Melle Lallemand).

--*

ENQUETE DE SATISFACTION SUR LES OUTILS DE CAO-DAO ET SIG

Réalisée auprès des Géomètres-Experts et collectivités territoriales en mai, juin et octobre 1991.

Cette enquête permet de connaître :

- > La satisfaction de ces deux catégories de clients par rapport aux périphériques couramment utilisés (carnets électroniques, traceurs, digitaliseurs...).
- > Les motivations de choix des logiciels.
- > Les espoirs d'utilisation et les utilisations réelles des logiciels.
- > L'avis des utilisateurs sur les performances des logiciels dans les divers domaines d'applications.
- > L'évaluation par les utilisateurs des points forts et points faibles des logiciels et des sociétés qui les commercialisent.

Un bon de commande et une présentation de l'enquête sont disponibles
(Tél : 85.39.40.80 - Melle LALLEMAND).

IETI - 17 boulevard des Etats-Unis, 71000 MACON

SUR LE LIEU DU COLLOQUE, LES PARTICIPANTS VISITENT....

LE CERN



Situé à l'ouest de Genève, à cheval sur la frontière franco-suisse, le CERN, laboratoire européen de physique des particules (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire), est l'un des plus grands laboratoires scientifiques du monde.

Sa mission fondamentale est de sonder les constituants les plus intimes de la matière pour découvrir les lois qui régissent notre monde et l'ensemble de l'univers. Le CERN est un exemple de collaboration scientifique internationale. Son programme de recherche s'appuie sur une panoplie de «grandes machines» sans équivalent dans le monde et attire des milliers de scientifiques de tous pays. Il s'agit de science pure, sans objectif technologique ou commercial immédiat, mais cette recherche, pour ses besoins, pousse la technologie moderne aux limites du possible par ses exigences extrêmes de précision et de rapidité de réponse, provoquant des retombées importantes. Ces recherches pénétreront un jour notre environnement quotidien.

LA DESCENTE DANS L'ATOME

Le microscope électronique du vingtième siècle a succédé aux instruments optiques du siècle

dernier qui avait ouvert l'univers de l'invisible à l'oeil. Il dévoile la structure des molécules jusqu'au milliardième de millimètre. Les atomes, briques fondamentales de la chimie, ont une dimension inférieure et, pour regarder à l'intérieur du noyau, il faut des longueurs d'ondes encore plus courtes, donc des énergies plus élevées, et c'est ici que les accélérateurs de particules entrent en jeu.

La domestication progressive des faisceaux de particules chargées a permis de construire des accélérateurs de particules et des collisionneurs d'énergie toujours plus élevée et donc d'analyser la matière avec une précision de plus en plus grande.

C'est en 1954 que le premier accélérateur fut construit : un synchro-cyclotron destiné à accélérer les protons (600 MeV). En parallèle fut construit le Synchrotron à protons qui, à partir de 1959 fut le plus puissant du monde (28 GeV). Entre 1971 et 1984, le CERN a utilisé un nouveau type de machine : les anneaux de stockage à intersections (ISR). Au début des années 70, les travaux commencèrent sur une grande machine nouvelle, le super-synchrotron à protons (SPS) dont l'énergie a été portée à 450 GeV. A peine atteint son régime de croisière une proposition hardie fut avancée

pour l'utiliser comme collisionneur de particules, ce qui permit des découvertes, dont une historique (découverte des particules W et Z par Carlo Rubbia, et mise au point du refroidissement stochastique par Simon der Meer, qui en obtiennent le prix Nobel de physique 1984).

Pendant ce temps le CERN mettait au point un grand anneau électron-positon, le LEP qui était mis en service en juillet 1989.



Sous la France ?
Sous la Suisse ?

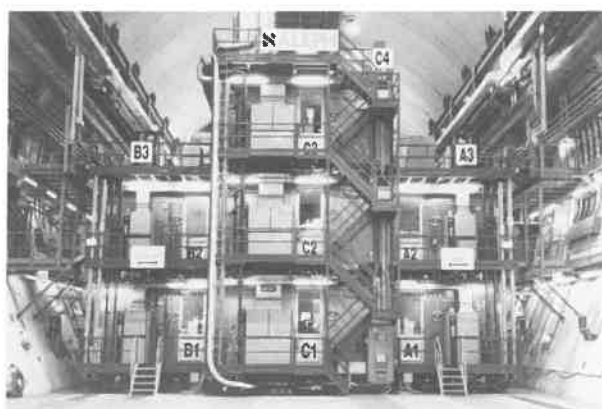
LE LEP

Ce fleuron des instruments de recherche du CERN est abrité dans un tunnel de 27 Km. Des milliers de grands aimants maintiennent les faisceaux d'électrons et de positons sur leurs orbites précises de sens opposés dans un tube en alliage d'aluminium constituant le plus long chemin sous vide dans le monde, tandis que les puissants équipements radiofréquences portent les faisceaux à des énergies supérieures à 50 GeV.



Dans le LEP.

Avec un vide poussé à 10^{-11} torr, les électrons peuvent parcourir un tiers d'une année lumière avant de rencontrer une quelconque molécule de gaz égarée. Des séparateurs électrostatiques écartent les faisceaux d'électrons et de positons l'un de l'autre pendant l'injection et l'accélération. Dès qu'ils ont atteint l'énergie désirée, on les amène en collision dans les quatre zones d'expérimentation où d'immenses détecteurs, de la taille d'un immeuble de quatre étages, disposés sur l'anneau, arrêtent, enregistrent et analysent les fragments émergeant des collisions.



Sous le Jura, le détecteur de l'expérience ALEPH

LE VIDE DE LA MATIÈRE DEPUIS LE BIG-BANG

Quand on regarde la voûte céleste on est saisi par l'immensité du vide qu'elle représente : 99,99 % est vide. Tout comme celui de l'univers, l'espace des atomes est vide à 99,99 %. Si l'on imagine un atome grossi à la taille d'un terrain de football, les électrons gravitent aux limites du terrain et le noyau qui représente 99,97 % de la masse, est une petite bille au centre du terrain.



Avec le LEP on tente de regarder l'intérieur de ce noyau en le cassant.

Un nouveau projet permettra d'aller encore plus loin. Il s'agit de la plus récente addition à la panoplie des instruments du CERN. Cette machine « Large Hadron Collider », Grand Collisionneur de Hadrons ou LHC, est conçue pour amener deux faisceaux de protons à se heurter de front à une énergie de 8 millions de millions d'électronvolts par faisceau, soit en tout 16 TeV.

Quel outil pour approfondir la connaissance de la matière ! Il doit conduire à un aperçu de l'Univers tel qu'il était à l'instant même de sa création !

La variété apparemment infinie du monde qui nous entoure repose en réalité sur un petit nombre de constituants. Les collisionneurs permettent de mettre à jour ces éléments fondamentaux de la matière.

Selon la conception actuelle, à l'instant du « Big-Bang », l'univers n'était qu'un point dont la température était infiniment élevée, et nous arrivons à la notion apparemment incroyable de la matière explosant à partir d'un état de densité infinie. Grâce aux connaissances amassées lors des expériences avec les accélérateurs et les collisionneurs, nous pouvons retracer la séquence probable des événements depuis une infinie fraction de seconde après le big-bang initial. Les phénomènes qui se sont produits dans l'intervalle, entre 1 dix mille millionième de seconde et 1 millionième de millionième de seconde, seront ouverts à l'exploration du nouveau LHC.

De la pénétration dans ce territoire, l'Homme espère des réponses aux questions fondamentales qu'il se pose. Mais, comme toujours en matière de découverte, ce sont peut-être des phénomènes imprévus que nous mettrons à jour, éclairant de façon encore plus pénétrante notre univers.

LE POSITIONNEMENT PAR SATELLITES G.P.S

Pour profiter au mieux de ces possibilités nouvelles
EFFICACITE - PRECISION - RENTABILITE



GEOID



Ses ingénieurs topographes

Son matériel de pointe

Son expérience

PEUT DEVENIR VOTRE ALLIE

- EN FRANCE
- A L'ETRANGER



INNOVONS ENSEMBLE



GEOID
CAP ALPHA - MONTPELLIER TECHNOPOLE
Avenue de l'Europe
34830 - clapiers

Nouvelle adresse

Tél : 67 59 30 48

Fax : 67 59 30 10

A CACHAN, À L'ESTP, EN NOVEMBRE DERNIER, RENCONTRE AFT



C'est à deux cents mètres de la Sorbonne, boulevard Saint Germain, que s'élève le prestigieux édifice de l'Ecole Spéciale des Travaux Publics du Bâtiment et de l'Industrie. Cette école a été conçue et fondée par Léon Eyrolles en 1891. Mais c'est dans les huit hectares du domaine de Cachan ou se situait primitivement l'école que s'est tenu la rencontre AFT de novembre sur les SIG et le GPS. Ce domaine appelé « la maison de famille » comporte les pavillons, restaurant, salles de jeux, bibliothèque, foyers, conçus pour que les élèves y habitent, s'y réunissent, y travaillent. Il abrite en outre 31 amphithéâtres et salles de cours et 21 laboratoires d'essais.

C'est dans l'automne roussissant du parc, au pavillon du bois, que s'est tenue une rencontre organisée par l'AFT sur la Topographie et le système GPS et le développement des SIG en rapport avec la topographie. Sous les présidences de Claude Boucher, directeur technique de



l'IGN et de Jean-Pascal Cheylan, chercheur au CNRS, les conférenciers Pascal Willis et Serge Motet ont développé l'impact de ces technologies sur la topographie. Une discussion importante et conviviale a tenue une partie importante de la rencontre dans un véritable et utile dialogue entre les utilisateurs de SIG et du GPS. Le directeur actuel de l'école, Serge Eyrolles et le président de l'Ordre des Géomètres Jean Lamaison, se sont excusés de ne pouvoir participer aux travaux, mais Régis Vallée, directeur des études et Alain Ourgaud, directeur de la « maison de famille » et du campus de Cachan, honoraient la rencontre de leur présence. Notons que quatre présidents successifs de l'AFT participaient aux débats : Louis Catinot, Robert VINCENT, Roger Schaffner, et l'actuel président André Bailly.

Le reportage photo de cette manifestation était assuré par la société Pentax.



Pentax Zoom 105 R

La rencontre AFT de Cachan fera l'objet du prochain «dossier» dans le numéro 51 d'avril 92 de XYZ. (GPS et SIG).

ELECTIONS À L'UNION GÉODÉSIQUE ET GÉOPHYSIQUE INTERNATIONALE ET À L'ASSOCIATION INTERNATIONALE DE GÉODÉSIE (VIENNE 1991)

J.J. Levallois, secrétaire général honoraire de l'A.I.G.

Chaque pays confie l'inspiration ou la gestion de politique scientifique à des organismes officiels, tels sont en France sous la tutelle des Ministères intéressés :

- l'Académie des Sciences
- l'Université
- les centres nationaux (C.N.R.S, C.N.E.S,...)
- le Commissariat à l'Energie Atomique (C.E.A)

Au point de vue international existent des organisations dites intergouvernementales, régies par des accords diplomatiques telles que :

- le bureau International des Poids et Mesures
- l'UNESCO
- l'Organisation Mondiale de la Santé
- l'Organisation Météorologique Mondiale
- l'Agence Internationale de l'Energie Atomique etc...

Il existe également d'autres types d'organisations qui se proposent de promouvoir la recherche scientifique internationale d'en faire le point à une époque donnée et d'en diffuser les résultats.

LES UNIONS SCIENTIFIQUES INTERNATIONALES

Ce sont des organisations non gouvernementales. Elles sont actuellement au nombre de dix huit qui couvrent la plupart des thèmes scientifiques au sens large, Astronomie, Biologie, Chimie, Physique, Mathématiques, Sciences de la Terre, Histoire et Philosophie des Sciences, Microbiologie, Sciences Humaines, etc...

Elles sont groupées en une sorte de fédération, coiffée par un organisme central, le Conseil International des Unions Scientifiques (C.I.U.S = I.C.S.U) qui se propose de «promouvoir l'activité scientifique internationale dans les différentes branches de la science et leurs applications pour le bénéfice de l'humanité...». Le C.I.U.S comporte deux catégories de membres, les académies des sciences ou conseils de recherche (organismes nationaux) et les Unions Scientifiques (organismes internationaux), il peut donc agir sur les deux tableaux, et dans la nécessité créer des comités spéciaux d'étude :

SCAR	Recherche antarctique
CODATA	Tenue à jour des données expérimentales numériques,
SCOR	Recherche océanique
COSPAR	Recherche spatiale

Les Unions internationales sont spécialisées par thèmes généraux :

- Union astronomique internationale (U.A.I. = I.A.U)
 - Union internationale de chimie pure et appliquée (U.I.C.P.A = IUPAC)
 - Union internationale des sciences géologiques (U.I.S.G = IUGS)
 - Union internationale de mathématiques (U.I.M = IMU)
 - Union internationale de physique pure et appliquée (U.I.P.P.A = IUPAP)
 - Union internationale de sciences biologiques (U.I.S.B = IUBS)
- etc.

Nous allons nous pencher sur l'Union géodésique et géophysique internationale, dont les thèmes de recherche nous sont plus familiers.

L'UNION GÉODÉSIQUE ET GÉOPHYSIQUE INTERNATIONALE (U.G.G.I. = IUGG)

Son titre est suffisamment explicite pour qu'on ne précise pas davantage. Historiquement, il existait depuis 1887 une «Association géodésique internationale», organisation gouvernementale groupant à l'origine une vingtaine d'état. Elle-même succédait à une entente intereuropéenne «Europäische Gradmessung» qui, proposée en 1864 par la Prusse, collationnait et étudiait sous l'aspect scientifique les travaux européens. Mise en sommeil pendant la 1ère Guerre Mondiale, l'A.G.I. fût dissoute à la fin de celle-ci, à l'issue de laquelle on mit sur pied une nouvelle organisation, ancêtre très reconnaissable de l'actuelle (1920). Création d'un «Conseil international de recherches» devenu le C.I.U.S en 1931, regroupant alors 7 unions dont l'union géodésique et géophysique internationale.

La 2ème Guerre Mondiale - ô surprise - ne

bouleversa pas l'organigramme ancien. On se borna à réviser les statuts où cela semblait nécessaire et à ajouter des unions naissantes.

L'union géodésique et géophysique internationale partage ses activités entre les sept associations scientifiques semi-autonomes énumérées dans le schéma ci-dessous.

LA VIE DE L'UNION

La manifestation essentielle de l'activité de l'union est l'assemblée générale. Elle se réunit tous les quatre ans, pendant deux semaines, dans une grande ville à l'invitation du comité d'une nation adhérente.

C'est pendant ces sessions que sont publiés les résultats scientifiques nouveaux, que sont discutés les programmes internationaux, que sont réglées les questions administratives essentielles (élection, financement). Elles réunissent plusieurs milliers de délégués désignés par leurs comités nationaux. Lors de la dernière séance elle adopte les résolutions scientifiques et entérine les élections.

ADMINISTRATION

Soixante dix huit nations adhèrent à l'U.G.G.I. Chacune d'entre elles institue un comité national de géodésie et géophysique dont les membres sont des spécialistes des disciplines de l'Union, ils sont nommés par cooptation. Ces comités sont accrédités auprès de l'U.G.G.I. par l'organisme adhérent au C.I.U.S. - en France, l'Académie des Sciences ; il n'y a pas de membres de l'Union ni de ses associations,

il n'y a que des délégués aux réunions.

Les crédits de fonctionnement proviennent des cotisations annuelles versées par les Etats membres, selon un barème catégoriel auquel l'Etat adhérent souscrit lors de son admission, ceci a une incidence sur certains votes.

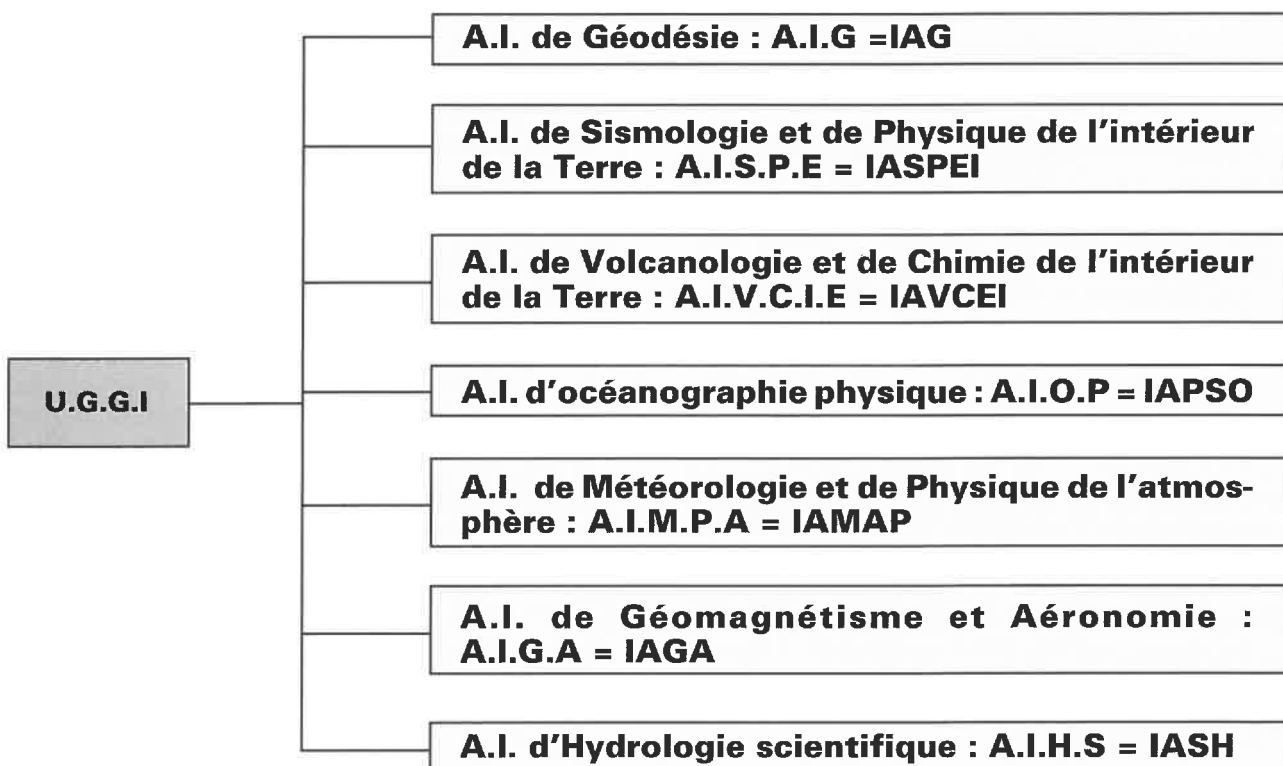
Le fonctionnement général est assuré sous la responsabilité d'un bureau élu par l'assemblée générale (voir plus loin) comprenant :

- un président
- un vice-président
- un secrétaire général
- un trésorier
- trois membres

Un comité exécutif, composé du bureau, du président sortant et des présidents des sept associations assiste le bureau pour toutes les questions importantes.

Les matières financières et les élections sont l'affaire du Conseil de l'Union, qui comprend le bureau, les présidents et secrétaires des associations, les délégués nationaux, un par pays. Il ne siège en principe que pendant l'assemblée générale. Pour les questions financières chaque délégué national dispose du nombre de voix correspondant à la catégorie souscrite par son pays.

Le secrétaire général est un rouage essentiel de l'organisation, c'est sur sa personnalité, son rayonnement, son activité que repose la bonne marche de l'organisation pendant l'intervalle des assemblées. Ses fonctions sont purement bénévoles et ne lui rapportent pas que des fleurs.



L'ASSOCIATION INTERNATIONALE DE GÉODÉSIE

Son organisation est calquée sur celle de l'Union, ou plutôt, lors de la réorganisation de l'U.G.G.I. (1946) c'est l'organisation de l'A.I.G. qui inspira le nouveau modèle d'union. L'A.I.G. élit un président, trois vice-présidents, un secrétaire général et deux ou trois secrétaires adjoints dont l'un siège obligatoirement auprès du secrétaire général.

Elle reçoit des dotations financières de l'U.G.G.I. telles qu'elles ont été décidées lors de l'assemblée générale par le Conseil de l'Union.

Cinq sections se partagent le domaine scientifique de la géodésie :

- Section 1 : Détermination des positions (1 président, 1 secrétaire)
- Section 2 : Technologie spatiale avancée (1 président, 1 secrétaire)
- Section 3 : Détermination du champ de pesanteur (1 président, 1 secrétaire)
- Section 4 : Théorie générale et méthodologie (1 président, 1 secrétaire)
- Section 5 : Géodynamique (1 président, 1 secrétaire)

A chacune de ces sections sont rattachées des commissions à objectif plus spécialisé, exigeant coopération internationale telle que :

- la coordination internationale des techniques spatiales (section 2)
- la commission gravimétrique internationale (section 3)

ou des groupes d'études centrés sur un sujet précis, exemple :

- effets dynamiques dans la rotation terrestre,
- positionnement par les systèmes inertiels,
- techniques gravimétriques de haute précision.

Conseil de l'Association et comité exécutif se partageant les différentes activités générales, le premier a des attributions administratives et financières (vérifications des comptes, élections des titulaires de fonctions officielles, examen ou modification des statuts etc...), le second épaula le bureau - président, 1er vice-président, secrétaire général - et se réunit en général une fois entre deux assemblées pour se faire rendre compte et décider s'il y a lieu.

Comme pour l'Union toutes ces fonctions officielles sont strictement bénévoles et peuvent tout au plus donner lieu à remboursement de frais.

Il est donc nécessaire que le secrétariat soit soutenu par un organisme national, et l'A.I.G. se doit d'exprimer la reconnaissance à l'I.G.N qui l'héberge.

Parmi les organismes internationaux en liaison

étroite avec les intérêts scientifiques de l'A.I.G. citons :

- le bureau gravimétrique international, centre de données gravimétriques (G. Balmino - Toulouse),
- le service international de la rotation terrestre (M. Feissel - Paris),
- le centre international des marées terrestres (Bruxelles).

CHOIX DES OFFICIELS

Les assemblées générales de l'U.G.G.I. sont fort suivies, la délégation est soigneusement choisie par le Comité National qui reçoit une enveloppe et établit la liste des élus - ce qui ne va pas sans remous.

Les postes officiels sont assez recherchés ; les comités nationaux y voient un élément de prestige, auquel le candidat n'est pas toujours insensible, d'où des compétitions feutrées ou ouvertes, parfois serrées, c'est pourquoi les élections sont soigneusement réglementées. Avant l'assemblée générale le «Nominating Committee», organe consultatif du président en exercice, établit une liste de possibles pour la composition future (président, vice-président, secrétariat, président et secrétaires de sections). Les membres du comité sont choisis parmi les vétérans revenus de toute fonction honorifique ; auxiliaires du président, ils lui proposent une liste soumise au vote. Elle n'a qu'une valeur indicative, elle devrait en principe comporter plusieurs noms pour chaque poste, ce qui n'a pas toujours lieu, mais tout membre du conseil (un par nation adhérente) peut, en séance même, proposer d'ajouter un autre nom à la liste présentée, ce qui provoque parfois quelques frictions.

XXÈME ASSEMBLÉE GÉNÉRALE DE L'U.G.G.I.

Sur invitation des comités nationaux respectifs, la XVIème assemblée générale de l'U.G.G.I. s'était tenue à Grenoble (1975).

La XVIIème à Canberra, Australie (1979).

La XVIIIème à Hambourg, Allemagne (1983).

La XIXème à Vancouver, Canada (1987).

La XXème s'est tenue à Vienne (Autriche) au mois d'août 1991. Les élections ont donné les résultats suivants : le professeur Helmut Moritz, le très fameux géodésien, a été élu président de l'U.G.G.I. Il est professeur de géodésie mathématique à l'Université technique de Graz, professeur au département de géodésie de l'Ohio State University. Il fut président de l'A.I.G. de 1979 à 1983. Ce choix honore autant l'élu que les électeurs. Le vice président est le prof. Peter J. Wyllie, du Dpt. of Geology and Planetary Sciences du Caltech. Pasadena (USA).

Notre compatriote Georges Balmino (G.R.G.S. Toulouse) a été élu secrétaire général, il succède dans ce poste à P. Melchior (Belgique) secrétaire de 1967 à 1991.

Dans les associations nous relèverons les noms suivants :

- Association de sismologie et de physique de l'intérieur de la Terre : 1er vice-président : C. Froidevaux (France). Département de géologie de l'Ecole Normale Supérieure.
- Association internationale d'océanographie physique : 1er vice-président : A. Morel (France) Centre d'études et de recherches océanographiques - Villefranche sur Mer
- Association internationale de géodésie : président : W. Torge (Allemagne), Université de Hanovre, Institut de géodésie théorique ; 1er vice-président : K.P. Schwarz (Canada), université de Calgary ; secrétaire général : Cl. Boucher (France), I.G.N. Paris ; secrétaire adjoint : P. Willis (France), I.G.N. Paris

REPRÉSENTATION DE LA FRANCE

Depuis la création des unions, la France a tenu une part honorable dans l'attribution des postes officiels.

Elle a donné entre autres au C.I.U.S :

2 présidents :

- Ch. Fabry (1937-1946)*
- J. Coulomb (1972-1974)

1 trésorier : G. Laclavère (1961-1968)

A l'U.G.G.I :

1 président : J. Coulomb (1967-1971)

1 secrétaire général : G. Laclavère (1951-1967)

Elle détenait depuis 1920 le secrétariat général de l'A.I.G dont les titulaires successifs ont été :

G. Perrier - secrétaire général de 1920 à 1947

P. Tardi - secrétaire adjoint 1925 à 1947

P. Tardi - secrétaire général de 1947 à 1960

G. Laclavère - secrétaire adjoint (1947-1951)

J.J. Levallois - secrétaire adjoint (1951-1960)

J.J. Levallois - secrétaire général (1960-1975)

M. Louis - secrétaire adjoint (1960-1975)

M. Louis - secrétaire général (1975-1991)

Cl. Boucher - secrétaire adjoint (1975-1991)

et depuis Août 1991,

Cl. Boucher - secrétaire général (1991...)

P. Willis - secrétaire adjoint (1991...).

C'est donc Cl. Boucher qui remplace M. Louis.

M. Louis, ingénieur général géographe, a

poursuivi longtemps à l'I.G.N une carrière de géodésien. Homme de terrain, familier de toutes les techniques d'observation, il a dirigé d'importantes missions en France et à l'étranger. Il a commandé la géodésie de 1976 à 1980, époque où il fut nommé chef de la production. Il est maintenant Directeur général adjoint. Son action à l'Association Internationale de Géodésie a été remarquable.

Rappelons à nos lecteurs les titres des nouveaux élus.

G. Balmino, est géodésien, directeur actuel du bureau gravimétrique international, rattaché au groupe de recherches de géodésie spatiale (G.R.G.S), il s'est distingué dès les débuts de la géodésie spatiale. Il est en particulier en liaison étroite avec G. Reigner (Munich) l'auteur de l'un des meilleurs modèles de champ de la pesanteur terrestre (GRIM 1, GRIM 2, GRIM 3, GRIM 4) tirés de l'étude des orbites des satellites artificiels et des mesures terrestres de pesanteur.

Cl. Boucher et **P. Willis**, ingénieurs géographes, géodésiens de formation I.G.N. participants importants aux travaux du G.R.G.S, se sont plus spécialement lancés sur les méthodes spatiales de positionnement terrestre par satellites - TRANSIT, G.P.S, DORIS - et sont les concepteurs des projets de nouveau un réseau géodésique français adopté récemment par le C.N.I.G. Ils sont bien connus de nos lecteurs.

J'ai connu **G. Perrier** qui fut mon professeur à l'X, **P. Tardi**, à la fois mon maître et mon ami. On me permettra de me réjouir de voir affirmée depuis 1920, la continuité de la confiance accordée par l'U.G.G.I et l'A.I.G aux géodésiens français. Chacun y a participé selon son tempérament ; les fonctions demandent pas mal de présence, de courrier, de patience (oh ! oui), celui qui les accepte sait du reste ce qui l'attend, ce n'est pas une façade à l'abri de laquelle on sommeille tranquillement. Un peu d'amour propre national et personnel, une solide conviction de l'utilité du travail accompli aident l'action, et les contacts internationaux enrichissant et engendrent des amitiés profondes qui demeurent. La réputation géodésique du pays n'y perd pas.

Documentation

- International Council of Scientific Unions - Year book 1991

- Bulletin géodésique n° 62 - n° 3. Le manuel du géodésien (1988)

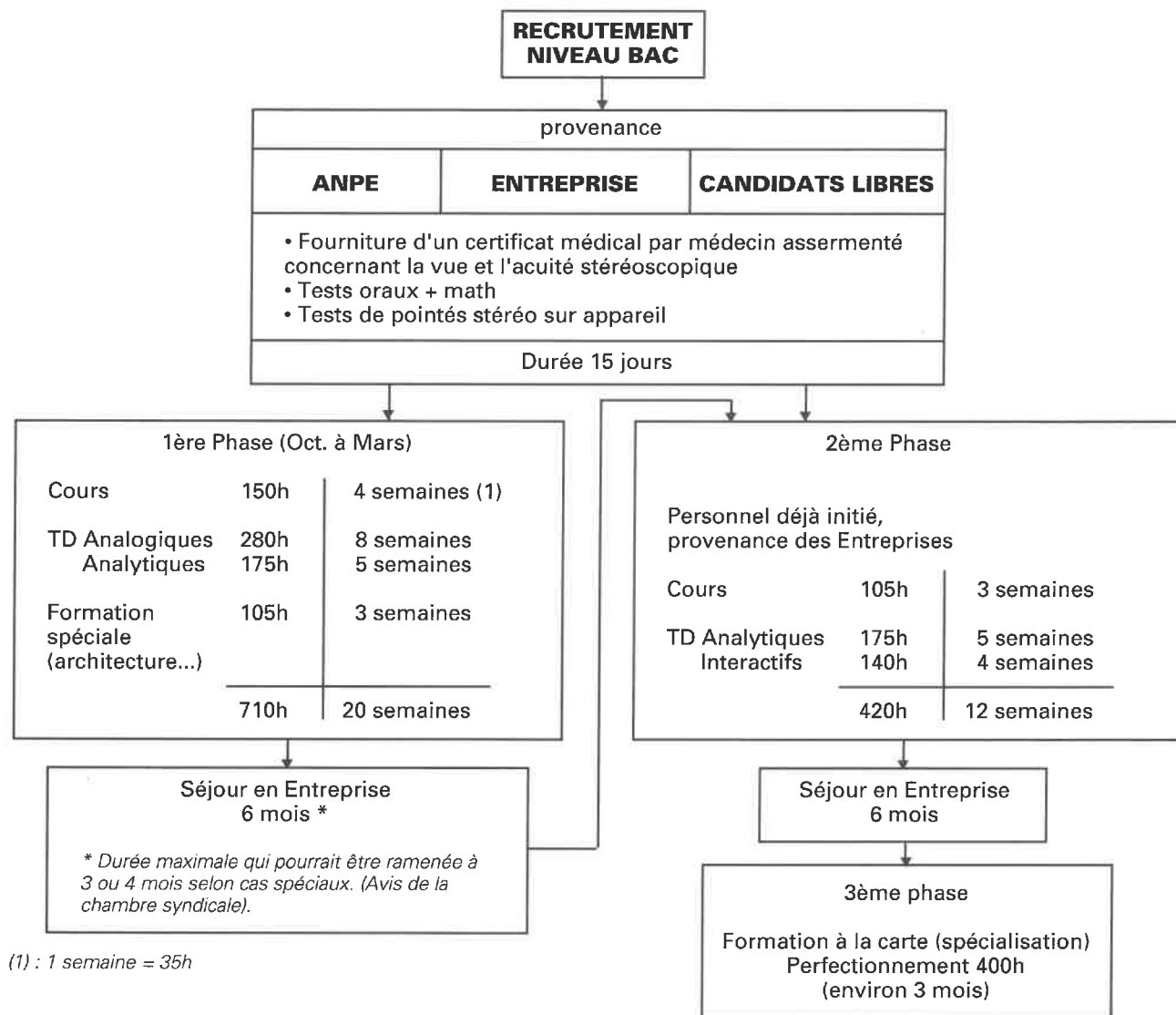
- I.A.G News letter 1991

* Aucune élection n'eut lieu pendant la 2ème Guerre Mondiale.

INFORMATIONS AFT - BRÈVES

Formation de restituteurs - photogrammètres

Après concertation auprès de divers organismes techniques et professionnels, un cycle de formation de Restituteurs Photogrammètres va être créé avec la participation de l'ESGT, de la Chambre Syndicale des Photogrammètres et de l'IGN. Cette formation comprendra des cours théoriques appuyés de Travaux Pratiques sur matériel analogique et analytique (numérisation des saisies et exploitation de logiciels). Elle s'effectuera sur 6 mois la première année et sera complétée par une seconde année (ou phase) d'approfondissement et de spécialisation. Ce cycle devrait pouvoir commencer dès 1992. Les organismes ou Entreprises intéressés par ce programme peuvent se renseigner à l'AFT. Programme proposé :



Université d'Orléans - Faculté des Lettres

Depuis 1990 : Une maîtrise de Sciences et Techniques de cartographie

Formation de cartographe en deux ans ; 1600 heures d'enseignement ; Cinq mois de stages obligatoires (rapport écrit et soutenance orale) ; Inscriptions avant le 19 juin de chaque année.

- Conditions : DEUG de géographie, science de la nature et de la vie, BTS de l'ENSG-IGN, de géomètre topographe ou examen préliminaire de géomètre expert, possibilités de validation d'acquis pour BAC + 2.
- Nécessité de suivre un stage préparatoire de quatre semaines (108 heures) aboutissant à un certificat préparatoire. Salle informatique spécialisée, contacts privilégiés avec le milieu professionnel (conventions de recherche et d'enseignement), et avec les universités étrangères.
- Débouchés : Géomètres experts, photogrammètres, topographes, cartographes, recherches, ministères, collectivités locales, sociétés de conseils etc...

• Renseignements : Université d'Orléans, CUIO, Le Forum, rue de Tours BP 6749 - 45067 Orléans cedex 2.
Tél : Pierre Gillardot, directeur de la MST ou Philippe Quodverte, maître de conférences : 38.41.73.23.
Fax : 38.41.73.25

IGN méthodes modernes de positionnement géodésique

Module de formation : organisé par l'IGN du 18 au 21 février 92 à l'Ecole Nationale des Sciences Géographiques (ENSG). Les conférenciers, sous la direction de Claude Boucher, Directeur Technique de l'IGN, sont ingénieurs géographes ou professeurs de grandes écoles.

H. Duquenne : Systèmes de référence et de coordonnées

C. Boucher : Systèmes géodésiques : diversité et unification

P. Willis : Introduction à la géodésie spatiale

G. Petit : L'interférométrie à longue base

P. Willis : Présentation des systèmes GPS et DORIS

J.J. Radix : L'arpentage inertiel

P. Willis : Le système GPS appliqué à la géodésie

M. Le Pape : Le réseau géodésique français

La dernière séance, le 21 février de 14 h à 15 h, sera consacrée à l'évaluation de la formation.

Renseignements sur le programme : H. Duquenne, IGN/SGN, 2 avenue Pasteur BP 68, 94160 Saint Mandé - Tél. : (1) 43 98 83 30.

Réservations - inscriptions : J.P. Arnaud, ENSG/DSFC, 2 avenue Pasteur BP 68, 94160 Saint Mandé - Tél. : (1) 43 98 80 64.

**LA MESURE OPTIQUE SANS CONTACT
DE HAUTE PRÉCISION SUR VOS
PIECES ET STRUCTURES.**

Mesure par théodolites avec système KERN ECDS3

SITES SA / Dépt VISION-DIMENSION
79/83, rue Jean Jaurès, 92800 PUTEAUX
tél : (1) 47 76 23 12 fax : (1) 47 78 70 59



SLOM-ESSILOR, la mesure s'impose.

Station totale électronique GTS-6

Enregistrement intégré par carte mémoire.
Capacité de stockage de 64 KB à 256 KB.

Équipé d'un compensateur bi-axe (sur GTS-6 A), d'une lecture angulaire de 2 cc et d'une portée supérieure à 2000m avec un prisme, le GTS-6, dans ses trois versions, répond aux demandes des utilisateurs les plus exigeants.

SLOM, c'est la garantie d'une expérience de plus d'un siècle en matériel de topographie et géodésie.

Département topographie d'ESSILOR, un des grands noms de l'optique, SLOM est votre partenaire privilégié.

Niveaux, théodolites, tachéomètres, lasers, systèmes de positionnement G.P.S., accessoires, notre gamme est à la pointe de l'innovation.



Service après-vente, réparation, location, location-assistance, vous trouvez écoute et conseil dans chacune de nos dix antennes régionales.



Station totale électronique
CTS-1



Théodolite de précision
ETL-1



Niveau électronique
SNELB



Laser rotatif
050 H



Système de positionnement
GPS



Niveau d'ingénieur
SNA 24

Instruments de topographie et géodésie SLOM
1, rue Thomas Edison - 94028 Créteil



SLOM
Le sens de la mesure

Téléphone : (1) 48 98 70 10
Télécopie : (1) 48 98 70 13



LES BORNES IGN DE L'AVENTURE 1991 DECERNÉES DANS LE PLUS GRAND ESPACE CARTOGRAPHIQUE EUROPÉEN, L'ESPACE IGN

ESPACE IGN



107 RUE LA BOETIE
75008 PARIS

Le champagne pétillait sous les projecteurs du nouvel Espace IGN où l'IGN décernait ses quatre bornes de l'aventure désormais symboliques pour les performances qu'elles mettent en valeur par cette consécration.

Associer l'IGN et l'aventure va de soi. Physiquement d'abord techniciens et ingénieurs de cette entreprise ont un long passé de missions lointaines, de confrontations avec les pièges de la nature et ses risques, techniquement ensuite puisque la science est aussi une aventure, enfin parce que le premier acte qu'accomplit un aventurier c'est de regarder une carte.

L'IGN s'est donc senti légitime pour créer ces «bornes», images de la géodésie, qui récompensent chaque année les hommes et les femmes qui ont accomplis dans l'année écoulée les aventures les plus remarquables vécues dans l'un des trois milieux naturels : la terre, l'air, la mer.

S'y ajoute depuis 1988 une super borne attribuée au meilleur des dix nommés préalables sélectionnés par un jury. Comme pour les «Oscars» et les «Césars», les lauréats sont élus par leurs pairs, une centaine d'aventuriers.

Le directeur de l'IGN, Jean-François Carrez, remettait les prix :

- **Super Borne** : Florence Arthaud pour ses exploits 90-91, la Route du Rhum et les records de l'Atlantique et de la Méditerranée.
- **Catégorie Terre** : Christine Janin, première et seule française au Sommet Everest.
- **Catégorie Mer** : Pierre Fijalkowski, pour ses 3 000 Km en solitaire en canoë kayak, de Vancouver à Anchorage.
- **Catégorie Air** : Hubert de Chevigny, pour son avion tout terrain «explorer».

PAUL QUILÈS INAUGURE L'ESPACE IGN

Quelques jours auparavant, les nouveaux locaux de cet Espace IGN avaient été inaugurés par le Ministre Paul Quilès.

650 m² sur deux niveaux, à deux pas des Champs Elysées. 9 MF et trois mois de travaux ont permis cette transformation à hauteur du savoir-faire et des ambitions commerciales de l'IGN.

La large entrée franchie vous entrez dans un univers de transparence où les volumes, les uns après les autres, vous invitent à la flânerie, aux voyages, et contrastent avec ce quartier de Paris bruyant et encombré que vous venez de quitter. Un espace de détente et d'évasion où domine le bois, les ocres et les bleus.

Dans ce royaume de la cartographie vous prenez en entrant votre passeport pour le rêve avec la collection des globes sur trois socles géants en verre, et les cartes anciennes, chef-d'œuvre de gravure. La nature, les loisirs, la jeunesse vous accueillent plus loin avant de vous entraîner au rayon étranger, le monde entier sous les yeux. En avant première, les cartes du futur sur écran : la technologie de pointe permet le voyage direct dans les cartes, le calcul des itinéraires routiers, issues des bases de données réalisées depuis quelques années par l'IGN.

Au premier étage, embarquement cosmique : une voûte céleste de sept mètres de diamètre allume sur vos têtes 120 étoiles vues du pôle

nord. Elles président les images vues du ciel, photos aériennes et images du satellites SPOT. Une bibliothèque et quatre minitels couleurs accompagnent la fin du parcours.

Paul Quilès terminait ainsi son discours inaugural :

«L'événement d'aujourd'hui -l'inauguration de ce nouvel "Espace IGN"- marque l'effort qui est fait en faveur d'une plus grande cohérence de l'organisation de l'Institut, avec, ici, rue de la

Boétie, la vitrine, à Saint Mandé le pôle de production et très bientôt à Marne-la-Vallée l'école des sciences géographiques. Je ne doute pas que moyennant les évolutions dont j'ai souligné la nécessité, l'IGN saura pleinement tirer parti du développement considérable de l'information géographique et de ses applications dans la vie quotidienne des Français et dans la plupart des activités de l'homme. Sur la foi du chemin déjà parcouru, je prédis la plus grande réussite dans les 20 ans à venir à l'Institut Géographique National».

Toute la France, ce jour là, était en plein championnat d'orthographe. Bernard Pivot proposa une dictée géographique dont le texte avait été écrit par Jean-Philippe Grelot, ingénieur géographe.

UNE BALADE GÉOGRAPHIQUE

Géographes des portulans aux orles ouvragés, en lançant les grandes découvertes voilà cinq siècles, vous avez créé un rêve d'espace. De Lhassa la lascive Tibétaine à Oulan-Bator la fière Mongole, de Reykjavik la froide Islandaise à Tripoli la brûlante Libyenne ouvrant sur un désert où le vent fait onduler les barkhanes, l'explorateur a mesuré sans relâche le monde à travers son alidade à pinnules dorées. Troquant le théodolite pour le sextant, le marin pointe sur ses cartes les abscisses d'amers éloignés. Orthodromies et loxodromies joignent en un écheveau des myriades d'îles, glissant de l'Alaska au Kamtchatka le long des Aléoutiennes, évitant la sinistre Sakhaline pour atterrir au

Japon par les Kouriles.

Planisphères et mappemondes portent les stigmates noircis des convulsions de l'Histoire : le Tanganyika est devenu Tanzanie, le Nyassaland s'appelle désormais Malawi, le Zimbabwe a remplacé la Rhodésie aux portes du désert du Kalahari où, dit-on, les dieux sont tombés sur la tête.

Cartographes jongleurs de latitudes, de longitudes, d'azimuts, de zéniths et de nadirs, cherchez-vous encore le centre de l'Europe, au cœur de vos abaques compliqués ? Facétie de la Géographie à l'Histoire, il est tout proche de Vilnius, en Lituanie.

L'IGN et les jeux olympiques

A l'occasion des jeux d'hiver d'Albertville, l'IGN publie une spatiocarte en relief du site des lieux - Splendide- Pour se la procurer : Espace IGN, 107 rue la Boétie ou au centre Inter-régional à Villeurbanne, 8 avenue Condorcet.
(Tél : 78 93 83 39).

Annonce

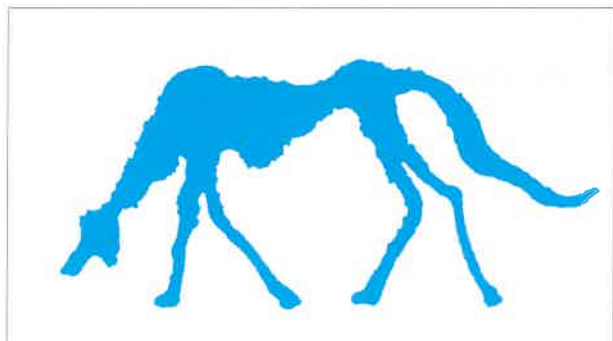
Vous cherchez un Assistant Géomètre Topographe ?

Nous sommes formés après Bac, par l'AFPA de Toulouse Techniciens et les Géomètres de Midi Pyrénées, avec le concours de l'Ecole Nationale du Cadastre.

Secteurs souhaités : Géodésie - Métrologie.

Contacter : Mme Ercolano. Tél : 61 17 20 09

GIACOMETTI. LE TOUT DU RIEN



La foule des sculptures de Giacometti dans les salles du musée d'art moderne de la ville de Paris, cette foule où la plupart des personnages marchent, même quand ils sont immobiles, est l'image de la solitude. En mouvement et vivant chaque personnage est seul, vide, il est l'absence et le néant.

Ils avancent inlassablement vers un destin, mais ne nous voient pas, ne voient pas les autres. Femmes et hommes, allongés démesurément, en dénuement complet, rien n'alourdi leur corps, aucun artifice, et ils en acquièrent le poids immense, insoutenable de la vie.

Idoles impuissantes, c'est leur noblesse désespérée qui leur donne âme. Nous cherchons tous à oublier que nous sommes seuls, Giacometti nous le rappelle, nous le dit, nous le démontre. Même le chien qui ne suit personne, alors qu'on croit qu'il suit son maître, même le chien s'achemine, avec une détermination que l'on dirait métaphysique, vers un but qui, sans doute, est le néant, le vide, le rien.

Ils marchent, ils avancent, ils doivent avoir la tristesse dans le regard, si seulement ils voulaient bien nous regarder. Mais ils nous laissent dans la solitude, ils nous laissent marcher, avancer. Ils ne nous disent même pas que nous avons raison, ils sont au-delà.

Ils n'ont pas froid, ils n'ont pas faim, ils n'ont pas de douleur, ils sont même libres. Parce qu'ils sont plus loin que tout cela qu'ils ont laissé derrière eux comme une gangue cassée petit à petit. Même l'amour est réduit à un atome cassé dans leur poitrine de bronze, à l'abri des regards, des émotions.

Infatigables ils marchent, même immobiles, c'est pour cela qu'ils sont hommes, qu'ils sont femmes, qu'ils sont grands et qu'ils représentent la vérité du monde. Ils sont debouts et droits, ils témoignent, ils ont un immense respect pour moi, l'humain. Finalement ils sont là pour nous sauver. Peut-être. Ce sont des amis. Salut amis !

Jack Biquand

Musée d'art moderne de Paris jusqu'au 15 mars.

D'HÉPHAÏSTOS À SOPHIA-ANTIPOLIS. MINEURS ET FORGERONS. TOME 1

par **Gabriel Arlet**, Ingénieur civil des Mines.

Une fresque balayant l'art des mines et des forges, de l'âge de pierre à nos jours, d'Héphaïstos à Sophia-Antipolis, c'est le pari de l'auteur qui nous stupéfie par la somme de son érudition. Il nous fait vivre les événements qui, au cours des siècles, ont affecté les conditions d'exploitation des mines et des forges. Gages de la richesse d'un pays, en particulier pour l'or et l'argent, elles étaient le fer de lance des puissances politiques qu'elles soient féodales, royales, impériales ou républicaines. La création de l'école des mines le 19 février 1783 est l'aboutissement d'une réflexion pour doter le pays des cadres de haut niveau, capables de gérer les affaires industrielles. L'ombre de cette école, l'Hôtel de Vendôme, et son esprit de liberté qui y souffle jusqu'aux arbres du jardin du Luxembourg tout proche, flotte dans le style léger et agréable de l'auteur.

Editions Gedim.

SUPER BASE DE FALLON

Patrick Baudry présente, dans cette collection des Editions Atlas, sur les avions du monde entier, la super base d'aviation de Fallon dans le Nevada. L'histoire de cette base, construite en 1942, est étroitement liée à celle de l'aviation américaine. Centre d'entraînement au combat tactique, formation des équipages, tir aérien, telle est la mission de cette base où sont passés tous les équipages depuis quarante cinq ans.

STRADA

Le plus court chemin entre LE TERRAIN et LE PLAN!



STRADA

LOGICIEL COMPLET:

- calculs topométriques
- dessins interactif
- courbes de niveau
- coupes et profils en travers
- cubatures

LOGICIEL COMPATIBLE:

- matériel: PC IBM ou compatible, toutes marques de carnets électroniques, tables traçantes et digitiseurs.
- logiciel: interfaces avec DXF, MACAO, MOSS, SICAD, MICROPISTE, STAR, fichiers ASCII manipulables par l'utilisateur.

LOGICIEL SIMPLE

Le traitement des données au sein d'une application totalement intégrée ne requiert aucune connaissance particulière en informatique.



SOFT CONSTRUCT

SOFT CONSTRUCT S.A.
rue des Ecoliers, 26
-4020 Liège - Belgique

él. : 32 - (0)41 44 20 21
fax.: 32 - (0)41 44 20 27

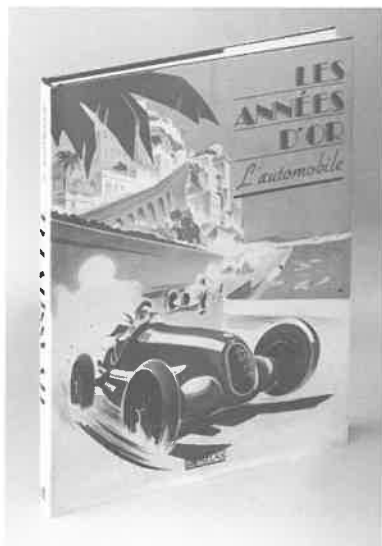
BON A RENVoyer OU A FAXER POUR OBTENIR PLUS D'INFORMATIONS



Je soussigné.....
Firme:.....
Rue:.....N°.....
Code Postal:.....Ville:.....
Tél.:.....Fax:.....

☐ Je suis intéressé par STRADA et je souhaite obtenir plus de renseignements;
☐ Je souhaite que vous veniez réaliser une démonstration en nos locaux;
et ceci sans engagements de ma part.

Je possède (type de matériel informatique):.....
Date:.....Signature:.....



TROIS LIVRES DES ÉDITIONS ATLAS

Les années d'or de l'automobile, véritable bouquet de nostalgie dédiée à tous les amoureux de la voiture, une fabuleuse saga. A travers l'évocation des grands noms de l'automobile, de ses pilotes, des améliorations dues à la compétition, ce livre fait revivre les grandes heures de cette machine indispensable qu'est devenue la voiture, et est une mine d'informations sur l'histoire. Nombreux dessins et peintures.

Voitures de légende. Ferrari V8. Si l'on regarde toute la production des V8 Ferrari, dont la F40 est la phase ultime, on a le sentiment d'un plan brillamment orchestré. Cette super Ferrari fut le dernier cadeau d'Enzo Ferrari et le symbole de toutes les Ferrari. On le découvre en images dans ce livre.

Jaguar MKII. Séduisant compromis d'élégance, de vivacité, de vitesse, cette voiture a fasciné tous ceux qui eurent à la conduire. Sa disparition au sein de la gamme a laissé le même trou que la MKI avait été chargée de combler. Incomparable de beauté et de performance. (dans la même collection : Cobra et Porsche 911).

AGENDA DES AUTOMOBILES DE COLLECTION

Cet agenda 1992, toujours aux Editions Atlas, fait revivre la fabuleuse épopée de ces «divinités à quatre roues» nées dans l'esprit des créateurs les plus prestigieux de ce siècle. Vous pourrez admirer, tout au long de l'année, ces superbes «bêtes de race» qui ne sont parfois qu'une brève apparition sur une route de campagne, de la célèbre Ford T à la luxueuse Bugatti Royale, en passant par la séduisante Duesenberg de Clark Gable et la très virile Aston Martin de James Bond.

MIFERMA : UNE AVENTURE HUMAINE ET INDUSTRIELLE EN MAURITANIE

A la pointe ouest de l'Afrique, entre l'océan et le Sahara, la Mauritanie figure sur la liste établie par l'ONU des pays les moins avancés. Son sol porte quelques-uns des monuments les plus prestigieux de l'Islam et il est particulièrement riche en fer.

C'est là que s'est joué de 1952 à 1974, une des parties les plus passionnantes de développement industriel des jeunes indépendances. **Jean Audibert**, polytechnicien, ingénieur du corps des Mines, en a été l'initiateur et le maître d'œuvre. Ce récit qu'il laisse de cette aventure révèle un sens aigu des problèmes économiques de la sidérurgie, mais aussi une sensibilité remarquable aux problèmes culturels et humains qui surgissent lorsque des populations sont confrontées aux diverses formes de la modernité. L'auteur nous a quitté en 1989. Il était président du BRGM jusqu'en 1979.

Editions «L'Harmattan».

INGÉNIEURS ET POÈTES

Les scientifiques et les artistes, pourquoi diviser le monde en deux camps contradictoires, voire étrangers ? ceux qui ont les pieds sur terre et ceux qui ont la tête dans les nuages ? Indifféremment injure ou compliment selon le ton employé.

Pour ces raisons et quelques autres, l'Ecole Nationale Supérieure d'Electronique et de ses Applications de Cergy a organisé le prix «ingénieurs et poètes». Boris Vian était ingénieur et poète et Raymond Queneau se définissait comme «poèteux-matheux» !

Dans la collection «club des poètes» et préfacée par Jean-Pierre Rosnay, paraît cette «Anthologie des lauréats du concours».

Allez y voir un peu !

VUES DE MALMAISON PAR GARNEREY



Publié par les «**Editions de l'œuvre d'art**» par la société des amis de Malmaison, cet album de luxe tiré à 500 exemplaires seulement.

Auguste Garnerey était décorateur de théâtre et peintre aquarelliste (1785-1824). Il a peint le parc de Malmaison avec poésie et vérité dans de ravissantes aquarelles que le livre reproduit intégralement.

Un historique et un commentaire de Gérard et Nicole Hubert accompagnent ces vues séduisantes d'un domaine exceptionnel.

Un album traité dans la tradition bibliographique : tirage sur grand papier, iconographie sur onglets, reliure cuir, doré sur tranche et réalisé manuellement.

A PROPOS DES JEUX OLYMPIQUES

En rapport avec les Jeux Olympiques d'hiver d'Albertville, signalons la revue «Routes et Aérodrômes» de septembre 91 avec un dossier sur «la route olympique», et le mensuel «Géo» de juillet 91 qui publie un article : «Savoie d'été et d'hiver, l'Olympe savoyard».

L'EXPOSITION DE L'ACCADEMIA DEI LINCEI



La lunette de Galilée.

Photo : Studio de Paris, Legret.
Fournie par l'Institut de France.

Du 13 décembre 1991 au 8 janvier 1992 a eu lieu à Paris à la Fondation **Dosne-Thiers**, Place Saint Georges, une intéressante exposition, consacrée à l'Académie dei Lincei et à la culture européenne au 17^e siècle, exposition placée sous le haut patronage du Président de la République Italienne et du Président de la République Française.

L'académie dei Lincei est instituée en 1603 par un jeune noble italien **Federico Cesi** avec le naturaliste hollandais **Van Heeck** et deux autres érudits italiens. C'est à l'origine une société d'amis souhaitant échanger les résultats de leurs recherches et de leurs lectures.

L'académie qui prône la liberté philosophique compte parmi ses membres :

- en 1610 le philosophe et savant **Della Porta**,
- et en 1611 **Galilée**, après la publication du célèbre **Sidereus Nuncius** (1610).

L'académie s'intéresse à la lunette de Galilée, grâce à laquelle celui-ci découvre les taches solaires et les reliefs de la Lune. L'académie publie en 1613 «**L'Istoria e dimostrazioni intorno alle macchie solari**», où Galilée montre que les taches solaires sont bien sur la surface du Soleil. Le grand savant se trouve ainsi en désaccord avec les idées de l'époque, qui n'admettaient pas que le cosmos aristotélicien soit perturbé par des reliefs sur la Lune et par des taches sur le Soleil.

L'Académie publie en 1623 **le Saggiatore**, où Galilée développe ses idées coperniciennes d'un univers héliocentrique.

L'Académie avait eu aussi l'intention de publier le grand ouvrage de Galilée, le **Dialogo** (1632) qui entraîna la condamnation du savant, le contraignant à l'abjuration. L'Académie portait en outre un grand intérêt à l'étude des sciences mathématiques et naturelles et à celle de la médecine.

Le rez-de-chaussée de l'exposition était consacré au rôle de l'Académie dei Lincei au 17^e siècle et le 1^{er} étage à l'Académie après 1870.

Au rez-de-chaussée, outre la présentation de nombreux ouvrages de toute nature, étaient exposés :

- la lunette **originale** de Galilée,
- le **giovilabio** de Galilée,
- le grand **astrolabe** de Galilée.

Ce sont toutes des pièces des collections de l'**Istituto e museo di storia della scienza** de Florence.

On connaît bien le principe de la lunette de Galilée où le redressement de l'image s'effectue grâce à un oculaire divergent. Les Lincei avaient baptisé la lunette de Galilée, **télescope**, alors que ce que nous désignons par ce terme actuellement procède d'un principe tout à fait différent de celui de la lunette de Galilée.

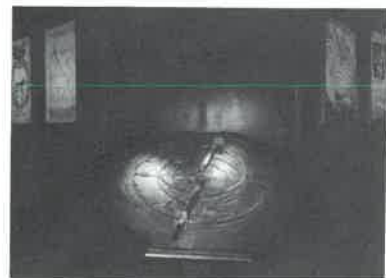
A côté de la lunette de Galilée était présenté le **Giovilabio**, instrument gravé sur cuivre, conçu pour déterminer les périodes de révolution des planètes médicéennes, comme l'indiquait l'étiquette placée à côté de l'instrument. En fait les **planètes médicéennes** sont les quatre satellites de Jupiter, que Galilée avait découverts et qu'il avait dédiés à Ferdinand II de Médicis. Les périodes de révolution de ces quatre satellites avaient été rendues publiques pour la première fois dans l'**Istoria e dimostrazioni intorno alle macchie solari**, dont il a déjà été question plus haut.

L'astrolabe utilisé par Galilée est plat et de très grande dimension : environ 40 cm de rayon. Il a été construit par **Egnazio Danti** (1536-1586) célèbre mathématicien et cosmographe italien, dominicain, chargé par le **Pape Grégoire XIII** d'étudier la réforme du calendrier julien, en usage avant 1582, réforme qui donna lieu à l'instauration en 1582 du calendrier grégorien, toujours en usage actuellement.

Le tympan de l'astrolabe, qui a dû être réalisé vraisemblablement pour la latitude de Venise, où Galilée fit ses observations astronomiques, comporte des almucantarats tous les degrés et des cercles d'égal azimut tous les cinq degrés. L'intervalle de chaque degré de la couronne extérieure comporte un trait oblique gradué jouant le rôle de vernier et permettant d'obtenir la précision de lecture de quelques minutes sexagésimales sur le biseau de la règle mobile de grande longueur qui pivote autour du centre de l'astrolabe. Cette règle mobile joue à la fois le rôle d'**ostensor** et d'**alidade**, puisqu'elle est munie de deux pinnules, mais il est peu probable que l'astrolabe ait servi à effectuer des observations célestes, aucun système n'étant prévu pour son accrochage dans la position verticale. L'astrolabe devait être simplement un instrument de calcul analogique.

L'araignée ne comporte pas plus d'étoiles que dans un astrolabe ordinaire de dimensions beaucoup plus modestes, ce qui laisse de grands vides entre les tiges qui assurent la rigidité de l'araignée et qui portent les crochets matérialisant les étoiles.

Astrolabe de Galilée.
Studio de Paris, Legret.
Institut de France.



Au premier étage, dans le cadre de l'historique de l'Académie dei Lincei après 1870, était exposée une carte du géographe cartographe arabe **Idrisi** de 1154 représentant la Sicile et l'extrémité de la botte italienne.

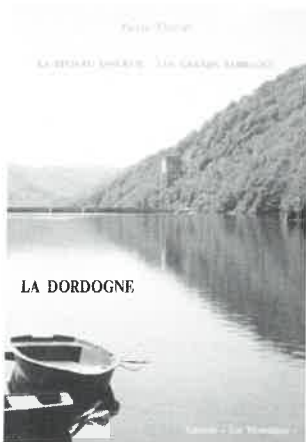
Raymond d'Hollander

LA RIVIÈRE ASSERVIE. LES GRANDS BARRAGES

La métamorphose d'une vallée sauvage en lacs immenses producteurs d'énergie. C'est l'histoire de ce monde un peu isolé de la Haute Dordogne jusqu'à Argentat que nous conte **Pierre Floirat**. La vie quotidienne de ceux qui le peuplaient et ce qui leur est advenu quand leur pays fut submergé. L'aventure gigantesque de la construction des barrages et de ceux qui les édifièrent. Les événements politiques et guerriers qui marquèrent plusieurs barrages construits pendant la période d'occupation. Une aventure humaine et technique.

L'auteur passa sa jeunesse en Algérie où il fut ensuite ingénieur du service hydraulique. Puis ingénieur conseil au Maroc il s'installe ensuite dans la région parisienne où il est élu président de la chambre des ingénieurs conseils dont il reste le président d'honneur.

Aux éditions «**Les Monédières**», Le Loubanel, 19260 Treignac. Prix : 120,00 Frs.



Note de la rédaction

Après l'article sur le whisky (XYZ n° 48) par M. Phan, professeur à l'Ecole des Mines de Paris, celui sur les vins de Bordeaux (XYZ n° 49), voici aujourd'hui le rhum. Est-ce à dire que notre joyeuse association de topographes ne considère l'Art de vivre qu'à travers les divines liqueurs de Bacchus ? Il est vrai que notre métier n'engendre pas la mélancolie, que lié par mille fibres de son travail à la vie des hommes, il participe largement et en bonne place à la joie de vivre, mais ce n'est qu'un hasard si cette seule

facette a fait jusqu'ici l'objet de notre attention gourmande. Dès le prochain numéro (avril 92), mais encore est-ce là un plaisir de la table que nous vous proposons, la «gastronomie en Alsace» nous fera l'honneur d'enrichir nos colonnes, saisissant l'occasion de la tenue à Strasbourg de la manifestation FI3G. En juillet, numéro 52, c'est Marrakech, la perle du Maroc, qui lancera son soleil et son exotisme dans nos pages. A la vôtre !

IL Y A RHUM ET RHUM

par Solange Contour, Diplômée HECJF

Le rhum a été pendant longtemps l'alcool le plus consommé en France et il vient encore en seconde position, derrière le whisky mais avant le cognac.

Il est pourtant mal connu : à cause sans doute de l'éloignement, on a une idée assez vague de sa fabrication ainsi que des divers types de rhums produits, dont certains se placent parmi les meilleurs alcools.

LE RHUM ET L'HISTOIRE

Les origines du rhum se confondent avec les débuts de la colonisation en Amérique Centrale. C'est à son second voyage, en 1493, que Christophe Colomb transporte la canne à sucre des îles Canaries à Hispaniola (actuellement St Dominique). Dès le VII^e siècle, en effet, les invasions arabes avaient amené la culture de la canne en Sicile et en Espagne.

La canne à sucre fut introduite aux Antilles françaises seulement en 1638. A partir de cette date, on fabrique de l'eau de vie de canne, appelée à l'époque «guildive», mot d'origine obscure, dérivé peut-être de «kill-devil» (tue-diable), expression fréquemment utilisée dans les îles anglaises. La dénomination «Tafia» était également employée, dont l'origine est peut-être africaine.

Le mot «rhum» a été introduit en Martinique pendant l'occupation anglaise et vient de l'anglais «rum» dont on ignore l'étymologie. Selon certains auteurs, il s'agirait de la dernière syllabe du nom générique de la canne à sucre «saccharum». Une autre explication circule : «rum» viendrait de «rumbullion», (tige de canne bouillie), «rumbullion» désignant aussi, en patois ancien du Yorkshire, un grand tumulte ou une bagarre de voyous.

Le terme «punch» dériverait quant à lui de l'hindoustani «panch» qui signifie le chiffre cinq. Dans l'ancienne formule, en effet, les composants étaient au nombre de cinq : alcool, thé, sucre, cannelle, citron.

LA FABRICATION DU RHUM

On trouvera ci-après un schéma de fabrication, dû à la société Clément, décrivant les procédés utilisés selon la matière première : mélasse issue de sucrerie de canne ou jus extrait de la canne à sucre.

Le rhum est une eau de vie, c'est-à-dire un mélange d'alcool éthylique et d'eau.

Le liquide qui s'écoule de la colonne à distiller a un degré alcoolique (70°) nettement supérieur au degré de consommation. Il y a donc addition d'eau pour ramener ce taux à 50 ou 55° pour les rhums agricoles jeunes et à 45 ou 49° pour les rhums vieux.

Le rhum contient une certaine proportion de substances aromatiques - les «non alcool» - qui lui confèrent son goût et son parfum caractéristiques.

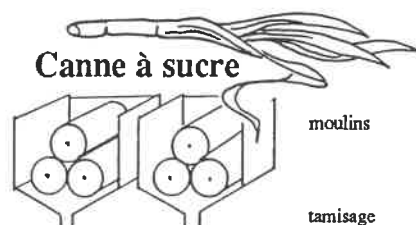
Selon la législation française, le «coefficient non alcool» ne doit pas être inférieur à 225 gr/hectolitre, pour les rhums «traditionnels». Il obtient 450 à 600 gr pour certains rhums vieux et au-delà pour les «grand arôme».

Par contre, pour les rhums légers, il peut descendre à 60 gr. En effet, un rhum léger n'est pas un rhum à faible titrage alcoolique mais un rhum contenant peu de substances autres que l'alcool.



Clément

La Distillation du Rhum.



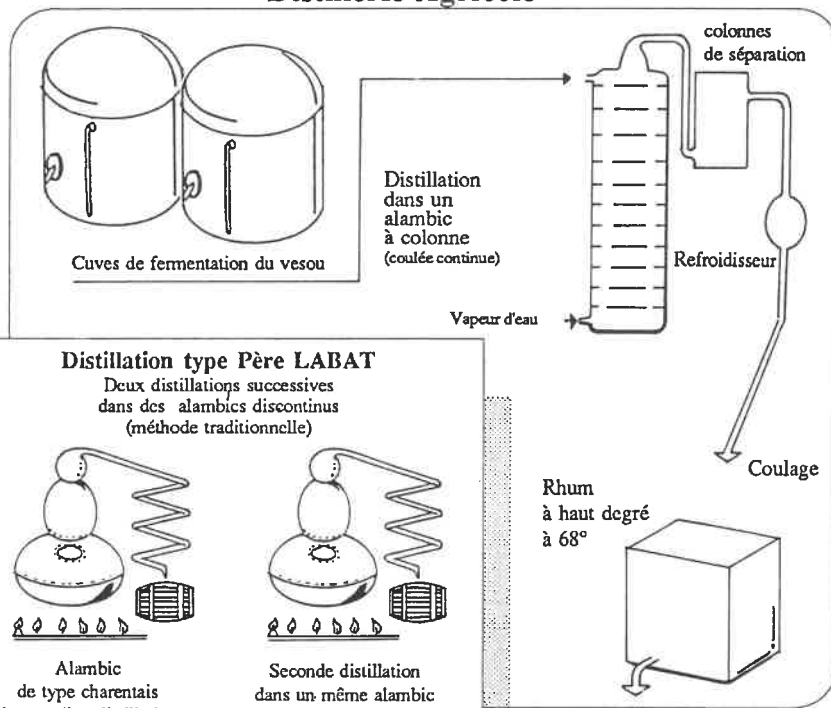
Canne à sucre

moulins

tamissage

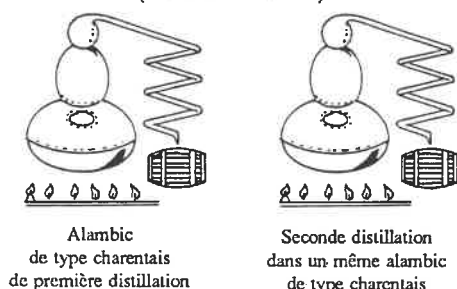
Jus de canne
ou Vesou

Distillerie Agricole



Distillation type Père LABAT

Deux distillations successives dans des alambics discontinus (méthode traditionnelle)



Rhum agricole de distillerie

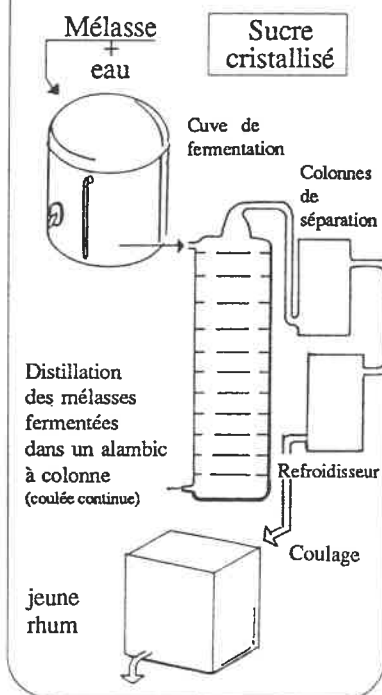


Sucrerie

Concentration

Sirop de canne

Cuisson



Rhum industriel de sucrerie

Rhum traditionnel

Rhum léger

Rhum vieux

Rhum grand arôme

1887 - 1987 : Un siècle de tradition

LES DIFFÉRENTS TYPES DE RHUM

On distingue trois grandes catégories de rhum selon la matière première utilisée pour leur fabrication : la mélasse, le sirop, le jus de canne.

La mélasse est un résidu de l'industrie sucrière (sucre non cristallisable). Le rhum de mélasse est donc produit par les sucreries, d'où son nom de «**rhum industriel**». Son arôme très développé en fait le rhum par excellence pour le grog, la pâtisserie, la confiserie, la cuisine. On dit «qu'il se mange plus qu'il ne se boit».

Une variété de rhum de mélasse est le rhum «**grand arôme**», rhum très corsé grâce à un taux de «non alcool» supérieur de deux ou trois fois à celui du rhum industriel (et qui est dû au fait que l'on laisse le jus fermenter naturellement). Il est utilisé pour les mélanges, c'est un rhum «médecin» qui renforce l'arôme de rhums trop neutres.

Le **rhum de sirop** est fabriqué à partir de sirop de sucrerie, c'est-à-dire de jus de canne concentré.

Le rhum tiré du jus de canne frais (le vesou) a seul droit à l'appellation de «**rhum agricole**» (on dit aussi «grappe blanche»). Il est très différent du rhum de mélasse, s'en distinguant par un arôme léger, frais, délicatement fruité. Son utilisation privilégiée est le punch et les «long drinks» dont le plus connu est le planteur. Jusqu'à la dernière guerre, les rhums agricoles étaient à peu près inconnus en France métropolitaine. Un gros effort de promotion a été réalisé depuis et certains rhums agricoles sont désormais traités comme

des vins de qualité, c'est-à-dire embouteillés sur les lieux de production et exportés sous la marque du fabricant.

Le «**rhum vieux**» doit, pour être vendu sous cette appellation, avoir séjourné au moins trois ans en fûts de chêne de 600 litres ou plus. Pendant son séjour en fût, le rhum absorbe le tanin du chêne ce qui le brunit et lui communique un arôme particulier.

A noter qu'il ne faut pas se fier à la simple apparence visuelle sous peine de confondre le rhum vieux tel que défini ci-dessus et le simple rhum industriel coloré en brun par du caramel.

On vend aussi sous le nom de «rhum paille» du rhum agricole n'ayant séjourné que 18 mois environ en fût de chêne.

Pour le rhum «ambré», il y a vieillissement de 18 mois en fûts de chêne puis adjonction de 10 % de rhum vieux.

SPÉCIFICITÉ DU RHUM DES DOM

Dans le monde entier, le rhum est fabriqué exclusivement avec de la mélasse de canne. Les pays latino-américains et anglo-saxons, en particulier, fabriquent depuis de nombreuses années des rhums légers (30 à 50 gr de «non alcool» par hectolitre. Ayant un goût et un parfum très neutres, ces rhums ne sont employés qu'en association avec d'autres boissons (notamment dans les cocktails).

Planteur

Dans un grand verre de jus de pamplemousse, d'orange ou d'ananas, ou les trois en même temps (en parties égales) ajoutez un ou deux doigts de rhum (blanc ou vieux), une mesure de sirop de sucre de canne, deux gouttes d'Angostura, quelques glaçons ou de la glace pilée. Décorer d'une rondelle d'orange ou d'une demi-rondelle d'ananas et une ou deux cerises au sirop.

Daiquiri

Mélanger une mesure de sirop de canne, une mesure de jus de citron pressé, quatre mesures de rhum blanc. Servir avec deux glaçons ou de la glace pilée dans les verres à cocktail.

Alexandra

Deux mesures de rhum vieux, une mesure de crème de cacao, une mesure de lait condensé sucré. Remplir de glace pilée et agiter vigoureusement. Servir en verres à cocktail.

Rhum-Tonic

Dans un verre, mettre deux doigts de rhum blanc ou vieux, une rondelle de citron, deux glaçons et remplir de tonic.

Rhum-Coke

Dans un grand verre, mettre deux doigts de rhum blanc ou vieux, une rondelle de citron, deux ou trois glaçons. Remplir de coca-cola.

Boeing 747

Un verre à punch de rhum blanc, un verre à punch de genièvre hollandais, un verre à punch de whisky ou de bourbon. Shaker énergiquement avec de la glace pilée.

Piña Colada

Une mesure de sirop de crème de coco, deux mesures de jus d'ananas, une mesure et demie de rhum blanc. Servir dans un grand verre avec de la glace pilée, et décorer avec un morceau d'ananas et des cerises au sirop.

Seuls les départements français d'outre-mer produisent du rhum agricole, c'est-à-dire fabriqué directement à partir de jus de canne.

Ce type de rhum, en raison de son goût agréable, peut-être consommé seul, qu'il s'agisse de rhum agricole (rhum blanc) ou de rhum vieux. La production de rhum des DOM représente 18 % de la production mondiale, le rhum étant le premier spiritueux consommé dans le monde : 1 400 000 hl d'alcool pur (dont la moitié autoconsommée).

Jusqu'à présent, les rhums des DOM bénéficiaient en France d'un statut un peu privilégié au niveau de la fiscalité. L'ouverture du grand marché européen va livrer ces rhums sous protection à la concurrence des rhums en provenance des pays ACP, une réglementation très laxiste ayant été adoptée au niveau de la CEE (la Grande-Bretagne et l'Allemagne sont gros importateurs de rhums légers). C'est pourquoi les producteurs de rhums des DOM ont demandé à être protégés par un classement AOC (Appellation d'Origine Contrôlée).

COMMENT CONSOMMER LE RHUM

Aux Antilles, le rhum le plus couramment consommé est le rhum agricole (blanc), bu la

plupart du temps sous forme de «ti-punch».

La formule du «ti-punch» est la suivante : une mesure de sucre liquide, trois mesures de rhum, le zeste d'un petit citron vert. En général, on y ajoute des glaçons mais certains le consomment en l'état et se désaltèrent parallèlement avec de l'eau fraîche (gazeuse ou non).

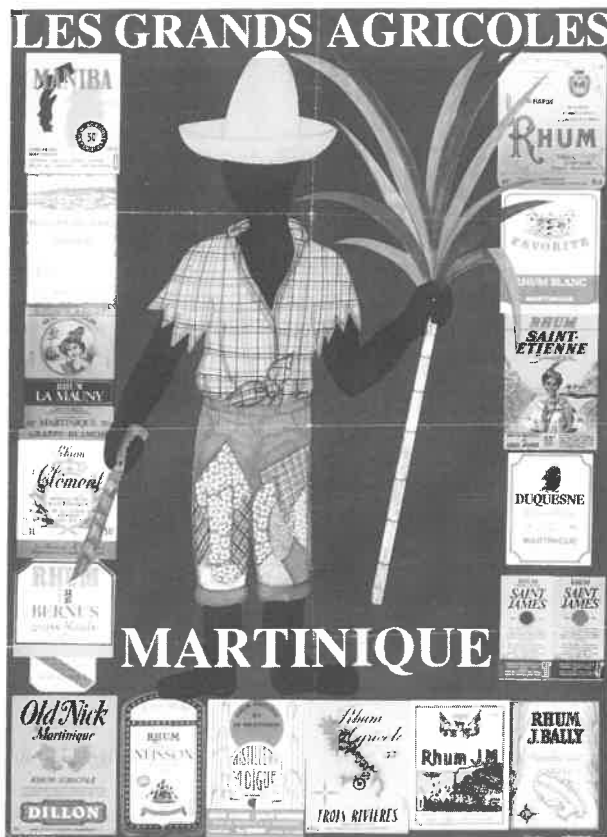
Le dosage ci-dessus est toutefois théorique. En réalité les bouteilles de rhum et de sucre sont posées sur la table et chacun réalise le mélange dans des proportions qui lui conviennent.

Lors des réunions mondaines, il est d'usage de présenter des bouteilles de rhum de plusieurs marques, de telle sorte que chaque invité puisse trouver un rhum de sa région.

Le rhum vieux se boit plutôt comme digestif (analogue à un cognac ou un armagnac). Mais certains le consomment aussi sous forme de punch (en évitant toutefois le citron vert qui dénature le goût).

Rhum agricole blanc et rhum vieux sont aussi utilisés pour la confection de «long drinks», c'est-à-dire en mélange avec des jus de fruits ou d'autres boissons.

Note de la rédaction : Solange Contour a publié deux livres sur Saint Pierre de la Martinique : *La ville et le volcan avant 1902 (Tome 1)* et *la Catastrophe et ses suites (Tome 2)*. En vente en librairie et diffusés par «L'Harmattan», Paris XVème. En préparation un livre sur Fort de France.



LES BONNES RECETTES D'XYZ

BOUCHÉES À LA REINE AUX FRUITS DE MER

par Anita Sautreau

Pour 6 personnes :
6 croûtes en pâte feuilletée
1 litre de moules
12 coquilles Saint-Jacques
3 cuillerées d'huile d'olive
1 oignon
1/2 verre de vin blanc sec
1 petit verre de cognac
beurre, farine, ketchup
sel, poivre, crème fraîche

Faire frire les langoustines dans 3 cuillerées d'huile d'olive. Les flamber avec un petit verre de cognac. Saler, poivrer. Ajouter le 1/2 verre de vin blanc sec et 3 cuillerées à soupe de ketchup. Laisser cuire doucement environ 15 minutes.

Gratter bien et laver les moules. Les mettre dans une cocotte avec une noix de beurre et un oignon haché et les faire ouvrir à feu vif. Dès que les moules sont ouvertes, les retirer et conserver le jus de cuisson.

Faire cuire les coquilles Saint-Jacques dans un peu de beurre.

Décortiquer les langoustines (conserver leur jus de cuisson) et sortir les moules de leur coquille.

Préparer une sauce. A cet effet, faire fondre dans une casserole un bon morceau de beurre et jeter en pluie une grosse cuillerée à soupe de farine. Mouiller avec les deux jus (langoustines + moules). Laisser cuire, sans arrêter de remuer quelques minutes. Retirer du feu. Ajouter 2 cuillerées de crème fraîche, les moules, les langoustines et les coquilles Saint-Jacques.

Maintenir la préparation ainsi obtenue au chaud sur une grande casserole d'eau bouillante (bain-marie).

Faire réchauffer les croûtes à four moyen, 10 minutes avant de servir.

Remplir les croûtes avec la préparation. Remettre les chapeaux et servir aussitôt.

Nota : Cette entrée succulente, qui fera la joie de tous vos amis, est à servir avec un vin blanc sec (Sancerre, notamment).



DÉFENSE ET ILLUSTRATION DE LA COTANGENTE

par Robert VINCENT

Il y a quelques jours, je me réveillais un matin avec le souvenir très précis d'un songe que je ne peux m'empêcher de vous conter.

J'avais assisté à une manifestation qui était passée sous les fenêtres de mon bureau et qui me rappelait nos aimables monômes d'étudiant d'antan. Dominant la foule, au-dessus des têtes, flottaient des calicots sur lesquels revenait, comme un leitmotiv, un sigle inhabituel : «Cotan».

Renseignements pris, il s'agissait d'une délégation de topographes qui allaient déposer leur cahier de doléances au Ministère tout proche des Affaires Scientifiques et Techniques. Intrigué, je m'approchais et me rendais compte que les manifestants protestaient contre les mauvais traitements infligés à la cotangente et réclamaient sa réhabilitation.

Voici quelques échos que j'ai cru bon de recueillir à votre intention :

Un grand blond scandait sur l'air des lampions : «Tangente, Cotangente, même combat» et de m'expliquer, une petite boîte noire à la main, que la cotangente était victime d'un véritable ostracisme de la part des fabricants de calculettes ! qu'elle devrait être traitée sur un pied d'égalité avec le Sinus, le Cosinus et la Tangente et avoir, elle aussi, son bouton comme les autres.

Un gros joufflu, avec une voix et une intonation qui n'étaient pas sans rappeler Raymond Devos, disait haut et fort que, pour éviter d'avoir à résoudre les difficultés d'un problème, il était trop facile de se contenter de «prendre la tangente».

Un troisième, petit maigre celui-là, affublé d'un costume début de siècle, les joues ornées d'une paire de rouflaquettes, se prenant sûrement pour le Savant Cosinus, était venu prêter main-forte, dans un large esprit d'ouverture, en proclamant son soutien à sa cousine, la cotangente qui, selon lui, en avait bien besoin. En effet, d'une abréviation à quatre lettres «cotg», elle se trouve, depuis une réforme faite sans la moindre concertation avec les topographes, nantie d'un symbole à cinq lettres «cotan», alors qu'à l'instar du «cos» pour cosinus, elle aurait pu se prévaloir d'un «cot» en trois lettres plus simplement.

Un autre encore, d'un air jovial, vantait à qui voulait l'entendre le «tout cotangente», comme les chauffagistes prônent le «tout électrique» ou certains le «tout nucléaire».

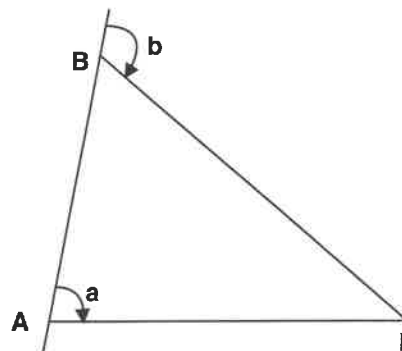
Comme je m'étonnais de la futilité apparente de ces revendications, et laissant sans doute voir un septicisme recouvrant une totale ignorance de la question, un dernier, au front haut et dégarni, qui me paraissait du plus grand sérieux, appela à la rescousse dans son discours, tout à la fois Porro, Delambre, d'Ocagne et Hansen ! Pas moins ! A l'appui de ses dires, il prétendit que tous ces personnages avaient laissé leur nom à la science, attaché à des formules où l'on pouvait constater que la cotangente bénéficiait d'une exclusivité quasi totale, et tout cela sans s'être donné le mot, puisque, ajoutait-il, ces braves gens ne s'étaient jamais rencontrés.

C'est sur un prudent «c'est bien possible» que je me retirais lâchement dans mon bureau, pour vérifier tout cela dans la Grande Encyclopédie «La topographie sans peine».

Je me réveillais alors, et à mon grand réconfort, j'ai trouvé dans cet ouvrage quatre belles formules, effectivement toutes en cotangente. Je ne peux résister au plaisir de vous les rappeler seulement, car je ne vous ferai pas l'affront de supposer qu'elles ne sont pas déjà de vos connaissances :

- Intersection d'un point par 2 visées, à partir des coordonnées de 2 stations et des angles à la base.
- Détermination d'un point «fictif» dans le relèvement : Point de Porro (relèvement italien).
- Orientation d'un relèvement sur 3 points (formule de Delambre).
- Relèvement barycentrique (formule de Maurice d'Ocagne).
- Relèvement double sur 2 points connus (problème de Hansen), qui revient au calcul de l'angle des 2 diagonales d'un quadrilatère indéformable.

INTERSECTION D'UN POINT PAR DEUX VISÉES, À PARTIR DES COORDONNÉES DE 2 STATIONS ET DES ANGLES À LA BASE



En deux stations A et B, on intersecte un point I. Les angles que font les visées AI et BI avec la droite AB sont respectivement a et b, comptés à partir de la droite AB, positivement dans le sens des gisements.

Les tours d'horizon observés sont :

en A : Lai = lecture sur I
Lab = lecture sur B

en B : Lbi = lecture sur I
Lba = lecture sur A

Les angles observés sont :

en A : $a = Lai - Lab$

en B : $b = Lbi - Lba$

Les coordonnées du point A étant : Xa et Ya ,

Les coordonnées du point B étant : Xb et Yb ,

Les coordonnées du point intersecté I : Xi et Yi ,
sont donnés par les formules suivantes :

$$Xi = \frac{Xb \cotan a - Xa \cotan b + Yb - Ya}{\cotan a - \cotan b}$$

①

$$Yi = \frac{Yb \cotan a - Ya \cotan b + Xa - Xb}{\cotan a - \cotan b}$$

Il est intéressant de noter que, les angles n'intervenant que par leur cotangente, nul n'est besoin d'orienter les visées, et il est seulement nécessaire de compter les angles à partir de la droite AB, positivement dans le sens des gisements.

DÉTERMINATION D'UN POINT FICTIF DANS UN RELÈVEMENT

Soit un point M relevé sur trois points :

- 2 de ces points sont connus : A et B
- le troisième N est connu ou non.

Le tour d'horizon observé en M est :

La : lecture sur A

Lb : lecture sur B

Ln : lecture sur N

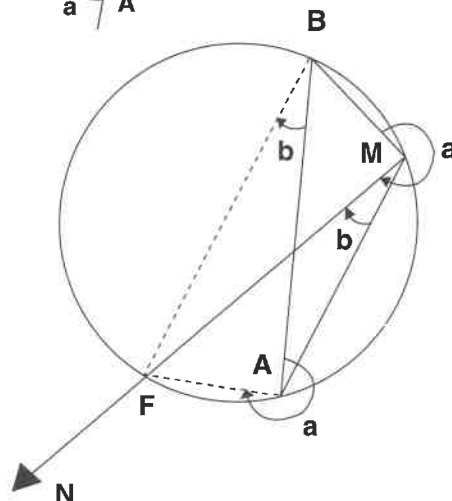
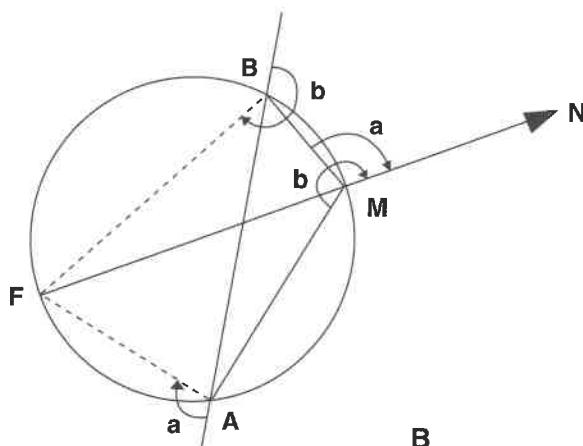
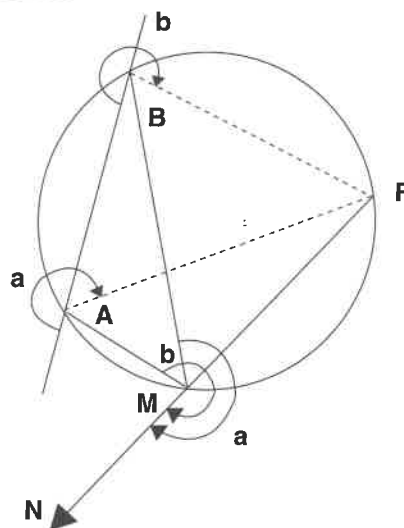
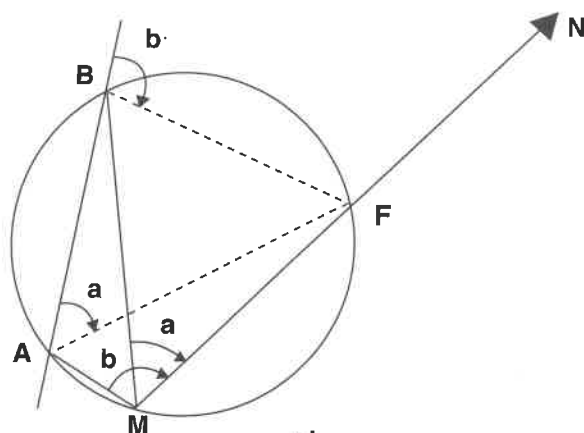
Les angles observés sont :

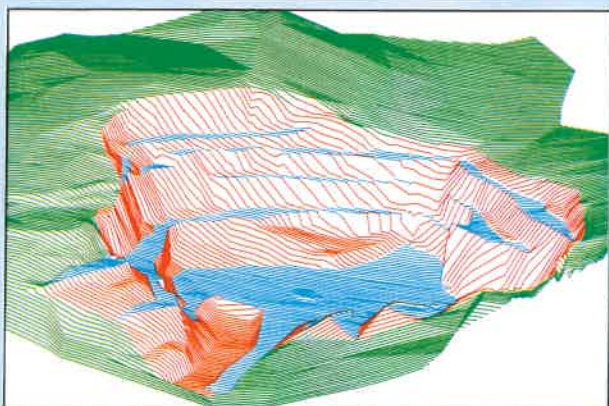
$a = Ln - La$

$b = Ln - Lb$

Considérons alors le cercle passant par les 3 points A, B et M. Il recoupe la droite MN en un deuxième point F.

Ce point F est déterminable par intersection à partir des points A et B. En effet, les angles que font les visées fictives AF et BF avec la droite AB, comptés à partir de cette droite, dans le sens des gisements, sont respectivement égaux aux angles a et b observés, quelque soit le cas de figure.

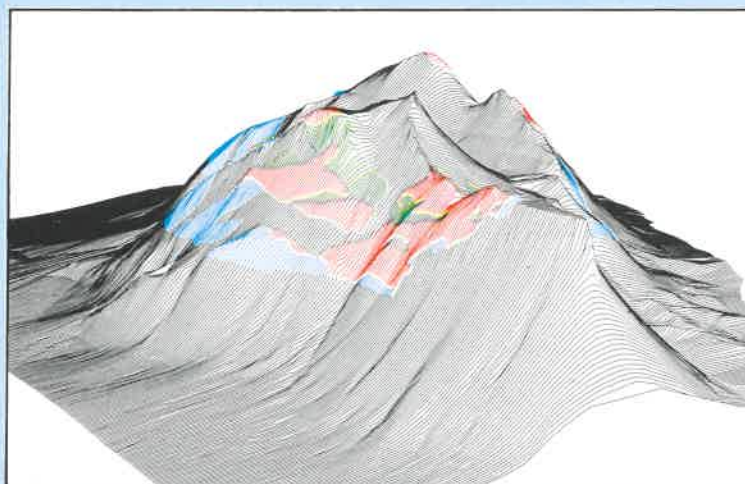




SOLITERR

LA SOLUTION INFORMATIQUE AUX PROBLEMES DE TERRAIN

- TOPOGRAPHIE - CARTOGRAPHIE - GEOLOGIE
- PROJET ET SUIVI D'EXPLOITATION
- GESTION FONCIERE - ENVIRONNEMENT



CORALIS

Conseil - Réalisation

Assistance Logicielle en Informatique Scientifique

B.P. 24000 - 13791 AIX-EN-PROVENCE CEDEX 3

TEL. 42 24 24 25 - FAX 42 39 70 12



ETUDE ET CONSTRUCTION DE LIGNES DE TRANSPORT D'ENERGIE ELECTRIQUE

79, rue Joseph-Bertrand - 78220 Viroflay

Tél. : (1) 30.24.20.21

Fax : (1) 30.24.33.48

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

Avec le Programme Topo TDS 48 et le Calculateur HP 48 SX

Découvrez le carnet de terrain électronique universel



TDS 48 : un programme Topo performant

TDS 48 se présente sous forme d'une carte bleue enfichable dans le calculateur HP 48 SX.



Ses capacités :

- Nombre de fichiers illimité (+ de 3000 points par carte RAM de 128 ko)
- Implantation
- Lever
- Calculs topo (intersections, conversions, gisements, distances, dénivelée, surfaces, relèvement, résolution de courbes ...)
- Résolution de triangles
- Cubatures
- Transfert de fichiers.

TDS 48 + HP 48 SX : le carnet de terrain universel

Connexion avec la plupart des tachéomètres présents sur le marché :

ZEISS, NIKON, TOPCON, WILD, GEODIMETER, PENTAX, SOKKIA,...

Affichage graphique

Possibilité d'afficher à l'écran la représentation graphique de tout ou partie du chantier.



HP 48 SX : le plus puissant des calculateurs de poche

- + de 2100 fonctions
- Ecran de 8 x 22 caractères
- Interface série (PC ou Macintosh)
- Interface infrarouge
- Garantie 3 ans.

Copyright Le Pont Equipements 1992. Tous droits réservés - Marque Déposée

LEPONT

EQUIPEMENTS

Un nom au service de la topo

Siège social : SEYSSUEL - Z.I. Seyssuel - A7 - BP 66 - 38206 Vienne Cedex

Tél. 74 31 41 21 - Fax 74 85 16 73

Paris 46 24 38 64 - Grenoble 76 96 67 74 - Lyon 78 58 49 90 - Toulouse 61 80 86 81

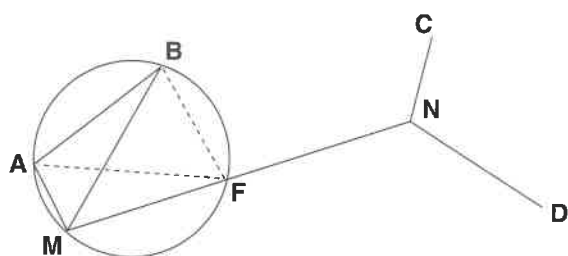


→ Consultez l'Annuaire Electronique

L'application de la formule (1) ci-dessus, donnera les coordonnées X_f et Y_f du point fictif F, en fonction :

- des coordonnées des points connus A et B : X_a , Y_a et X_b , Y_b ,
- des angles observés en M : a et b.

Si le point N est inconnu mais a, par exemple, été stationné en visant, dans un tour d'horizon, deux points connus C et D et le point M, il devient déterminable par relèvement sur les trois points C, D et F : Le point fictif F permet ainsi de calculer un relèvement double (les points M et N) sur 4 points connus A, B, C et D.



ORIENTATION D'UN RELÈVEMENT

Si, dans l'exposé précédent, le point N est connu, appelons-le plus classiquement C point connu de coordonnées X_c et Y_c . Le tour d'horizon observé en M est :

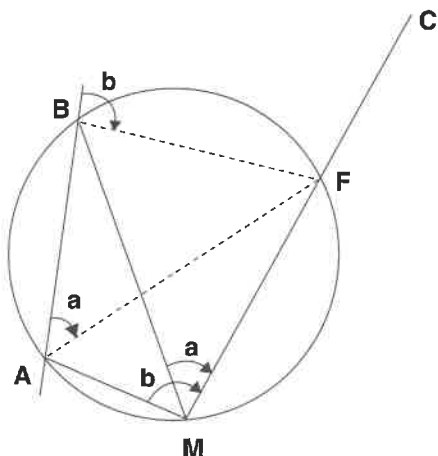
- L_a : lecture sur A
- L_b : lecture sur B
- L_c : lecture sur C

Il pourra alors être orienté car le gisement de MC sera calculable par différence de coordonnées entre F et C, les trois points M, C et F étant alignés.

$$\cotan G_{mc} = \frac{Y_f - Y_c}{X_f - X_c}$$

Les formules (1) ci-dessus donnent X_f et Y_f
En conservant les valeurs de :

- $a = L_c - L_b$
- $b = L_c - L_a$



Nous avons alors : Formule de Delambre ②

$$\cotan G_{mc} = \frac{(X_a - X_b) + (Y_b - Y_c) \cotan a + (Y_c - Y_a) \cotan b}{-(Y_a - Y_b) + (X_b - X_c) \cotan a + (X_c - X_a) \cotan b}$$

RELÈVEMENT BARYCENTRIQUE

Un point M est relevé sur trois points A, B, C. Soit A, B, C les angles aux sommets du triangle ABC.

Soit a, b, c les angles observés du tour d'horizon de relèvement en M :

a entre B et C

b entre C et A

c entre A et B

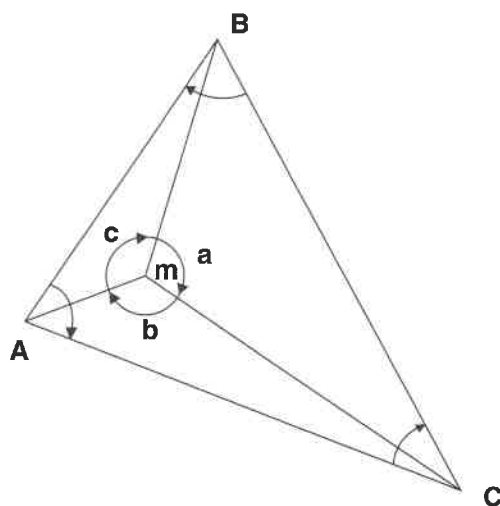
Tous ces angles sont comptés dans le sens des gisements.

Posons :

$$m_a = \frac{1}{\cotan A - \cotan a}$$

$$m_b = \frac{1}{\cotan B - \cotan b} \quad ③$$

$$m_c = \frac{1}{\cotan C - \cotan c}$$



Si l'on affecte à chacun des 3 points A, B, C, une masse respectivement m_a , m_b , m_c , le point de station M en est le centre de gravité (barycentre).

$$m_a \vec{MA} + m_b \vec{MB} + m_c \vec{MC} = 0$$

et en projetant sur les axes de coordonnées, on a :

$$m_a (X_a - X_m) + m_b (X_b - X_m) + m_c (X_c - X_m) = 0$$

$$m_a (Y_a - Y_m) + m_b (Y_b - Y_m) + m_c (Y_c - Y_m) = 0$$

d'où :

$$X_m = \frac{ma X_a + mb X_b + mc X_c}{ma + mb + mc} \quad (3)'$$

$$Y_m = \frac{ma Y_a + mb Y_b + mc Y_c}{ma + mb + mc}$$

On remarquera que si le point M est sur le cercle circonscrit au triangle ABC, deux des angles a, b, c, sont égaux aux angles correspondants A, B, C, et le troisième est égal à l'angle correspondant augmenté de 200 grades. Les cotangentes de a, b, c, sont égales aux cotangentes des angles A, B, C, et les masses ma, mb, mc sont infinies. Le point M est indéterminé sur le cercle ABC. On retrouve ainsi une propriété bien connue du relèvement : celui-ci revient, on le sait, à prendre l'intersection de deux arcs capables. Si le point M est sur le cercle circonscrit au triangle ABC, les deux arcs capables sont confondus et il y a indétermination.

ANGLE DES DEUX DIAGONALES D'UN QUADRILATÈRE INDÉFORMABLE

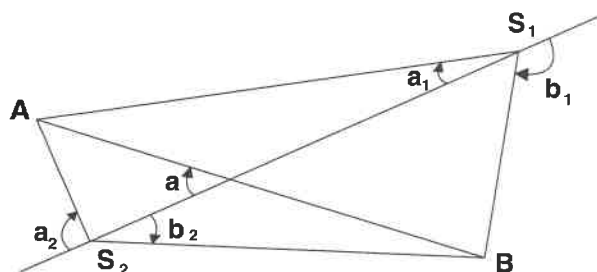
Dans un quadrilatère, lorsque seuls les 4 angles aux sommets sont connus, sa forme n'est pas définie : il est dit «déformable».

Par contre, dans un quadrilatère, lorsque seuls les 4 angles que font les 4 côtés avec une même diagonale sont connus, le quadrilatère est dit «indéformable». Tous les quadrilatères que l'on peut former avec ces 4 angles sont homothétiques entre eux, et, en particulier, l'angle que font les deux diagonales est alors le même pour tous.

Appelons a1, a2, b1, b2, ces 4 angles connus. Dans un tel quadrilatère indéformable, nous nous proposons de calculer l'angle «a» que font entr'elles les 2 diagonales. Tous les angles : a, a1, a2, b1, b2, ont un côté commun : la diagonale «connue».

Convenons que tous ces angles sont comptés à partir de ce côté commun, dans le même sens, celui des gisements par exemple.

Précisons que, pour ce faire, la diagonale «connue» n'a pas besoin d'être orientée. Le résultat



est donné par la «formule dite des cotangentes»

$$\textcircled{4} \quad \cotan a = \frac{\cotan a_1 \times \cotan b_2 - \cotan b_1 \times \cotan a_2}{\cotan a_1 + \cotan b_2 - \cotan b_1 - \cotan a_2}$$

Ce résultat est parfois présenté différemment, mais la formule ci-dessus est préférable car relativement facile à mémoriser :

- 1) il n'est fait appel qu'à des cotangentes,
- 2) pour former le numérateur et le dénominateur, les angles sont appelés dans le même ordre,
- 3) le numérateur est la différence des produits des cotangentes des angles «opposés»,
- 4) le dénominateur est la différence des sommes de ces mêmes cotangentes,
- 5) la formule est «homogène» : le numérateur est de degré 2 et le dénominateur de degré 1 en cotangente.

Pour le calcul, il est pratique de disposer les 4 angles, ainsi que leurs cotangentes, en carré. Par exemple :

a1	b1	et	cotan a1	cotan b1
a2	b2		cotan a2	cotan b2

Pour l'application de la formule des cotangentes, on fera alors :

- pour le numérateur, la différence des produits «en croix» des cotangentes (déterminant),
- pour le dénominateur, la différence des sommes «en croix» des cotangentes, en prenant soin évidemment, de décrire la «croix» dans le même sens que pour le numérateur.

On notera que, par le fait même que la formule ne comporte que des cotangentes, les angles n'ont à être définis qu'à 200 grades près, ce qui justifie de ne pas avoir à orienter ni les diagonales, ni les côtés du quadrilatère. Les cinq angles doivent seulement être comptés dans le même sens de rotation, à partir de leur côté commun. Il est commode pour cela de présenter les tours d'horizon aux extrémités de la diagonale «connue» avec une lecture «0» sur cette diagonale.

Notons aussi que si les 4 angles «connus» avaient été disposés en carré comme suit :

a1	a2	et	cotan a1	cotan a2
b1	b2		cotan b1	cotan b2

cela revenait à faire une permutation entre a2 et b1. Comme ces deux angles n'interviennent dans le calcul que par le produit et la somme de leur cotangentes, on voit que le résultat n'aurait pas été modifié : d'où encore une facilité supplémentaire : pour former le «carré», les deux angles «connus» en un point (a1 et b1 par exemple) peuvent être mis indifféremment pour commencer sur une même ligne ou sur une même colonne.



SETAM Informatique

Systèmes clés en main sur P.C. et réseau NOVELL
Au service du géomètre depuis 1973
 2, rue du Square Jean.Gibert - 78114 Magny-les-Hameaux
 Tél : 16 (1) 30 52 40 49 - Fax : 16 (1) 30 52 11 25

SPECIALISTE AUTOCAD Autocad Authorized Dealers
 Conseils - Formation - Assistance
 * **101 Références. Géomètres dans toute la FRANCE**

TOPOLISP^r

Un des plus efficaces logiciels développé par SETAM sous AUTOCAD et appliqué à la profession du géomètre.

Puissantes commandes de constructions géométriques, faciles à utiliser et permettant d'effectuer tout type de plans : plan d'intérieur, plan topographique, plan de division, profils en long et en travers T.N., lotissements, implantations, courbes de niveau, etc...

Développement spécifique en AUTOLISP : Héberges ; Gaz de France ; S.N.C.F.
 Interfacé avec la plupart des logiciels topo. (Fichiers points-code) **Interface MOSS.**

POLYACAD

Génération de 60% à 80% d'un plan sur un poste secondaire pour AUTOCAD.

GEOSET

* Transfert de carnets électroniques - * Calculs topo - * Report imprimantes - tables traçantes - * Digitalisation - * Interpolation et Dessin des courbes de niveau - * M.T.N.(DXF pour Autocad) - * Cubatures - * Ouvrages - * Profils.

NOUVEAU

NOUVEAU

NOUVEAU

NOUVEAU



"TIMS R11" (Total Information Management Systems)

GESTION TOTALE DES BASES DE DONNEES GRAPHIQUES ET ALPHANUMERIQUES

UNE PERCEE REALISTE ET ECONOMIQUE - APPRENTISSAGE ET UTILISATION FACILE

TOTALEMENT INTEGRE A LA VERSION 11 D'AUTOCAD

AUTOCAD : La Sécurité d' un Standard Mondial en continuelle évolution + TOPOLISP : Les Applicatifs pour le géomètre + une FORMATION en topo sur site + une EXPERIENCE de 25 ans dans l'environnement du géomètre = Le Confort de votre cabinet.

12.Demande de renseignements sans engagement de ma part : à l'attention de M. FORLANI Pierre.

Nom : Tél :

Adresse : Fax :

NOUVEAU

Pour les banques de données urbaines

Station d'acquisition de données photogrammétriques dans un SIG **ASP 2000**

ADAM Technology

Compact, peu encombrant, économique, opérationnel
en moins de 30 minutes après sa mise en place.



L'ASP 2000 vous restituera tout, partout.
Il vous restituera aussi votre investissement très rapidement.

L'ASP 2000 est connectable sur un simple ordinateur PC/AT pour l'introduction, l'édition et le stockage des données.

La communication avec l'opérateur est bidirectionnelle et interactive.

Les microprocesseurs de l'ASP 2000 (8088-80286-80287) le dirigent pour la formation de l'image stéréoscopique et transforment les coordonnées en temps réel pour maintenir cette image.

- Sa prise en main est rapide.
- Il est opérationnel en moins de 30 minutes, après sa mise en place sur le site.
- Le logiciel de cartographie associé MICROMAP Hitech est très facile d'utilisation.

ASP 2000 + MICROMAP Hitech :

- Pour la gestion de données photogrammétriques, modèle digital de terrain, courbes de niveau.
- Pour l'analyse thématique, gestion par couches.

ASP 2000 :

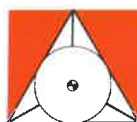
- Pour la mesure de modèles 3D.
- Pour l'acquisition de données et la cartographie numérique avec interface en temps réel sous AutoCAD et le logiciel Microstation PC.

DE NOMBREUSES APPLICATIONS

- Levers pour banques de données urbaines SIG.
- Gestion de modèles urbains, façades et ouvrages.
- Gestion des altitudes, drainage, adduction d'eau.
- Rénovations de plans, mises à jour pour SIG.
- Levers linéaires, études de routes, autoroutes, voies ferrées.
- Occupation des sols, études agricoles, couverture végétale.

NOTA :

Des kits ADAM Technology permettent de transformer les stéréorestituteurs analogiques WILD B8 et Topocart B, C, D en analytiques.

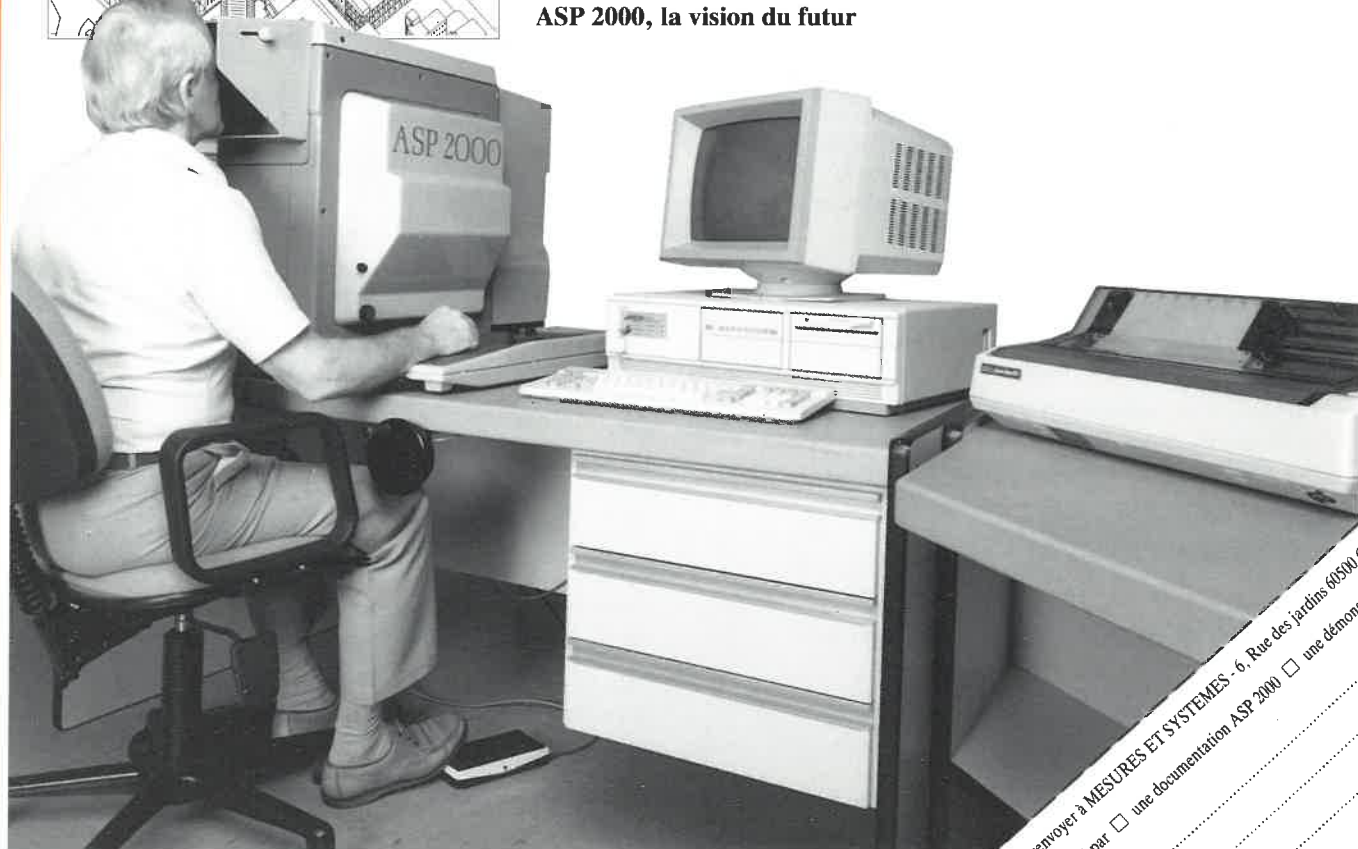


MESURES & SYSTEMES

6, Rue des Jardins. 60500 CHANTILLY - FRANCE.

Tél. : 44 57 27 97. Fax : 44 57 46 58. Telex : MESYST 150153 F

ASP 2000, la vision du futur



Bon à découper, à renvoyer à MESURES ET SYSTEMES - 6, Rue des jardins 60500 CHANTILLY.
Je suis intéressé par ☐ une documentation ASP 2000 ☐ une démonstration.
Nom
Adresse
Tél.



RÉCRÉATIONS MATHÉMATIQUES

Par Michel Sautreau

PROBLÈME N° 1/92 : LE PROBLÈME IMPOSSIBLE

Lors du banquet de clôture du dernier colloque de l'AFT, tenu au CERN de Genève, j'eus le grand plaisir de me trouver à la même table que deux topographes extrêmement doués en mathématiques et friands de problèmes récréatifs. L'un était suisse (nous l'appellerons S), l'autre polonais (ce sera P).

Profitant de cette aubaine, je leur proposai l'épreuve suivante :

«Je vais, leur dis-je, choisir deux nombres parmi l'ensemble des entiers naturels supérieurs à 1 et inférieurs à 24. J'effectuerai la somme et le produit de ces deux nombres, puis je donnerai la somme à vous S, topographe suisse, et le produit à vous P, topographe polonais. Le premier d'entre-vous deux qui arrivera à trouver le nombre remis à l'autre sera le gagnant».

Voici le dialogue auquel j'assistai alors :

S : «je ne vois aucune méthode vous permettant, mon cher P, de déterminer sans ambiguïté ma somme».

P (après un certain temps de réflexion) : «vous venez, mon cher S, de me donner une information précieuse ; cependant, je ne peux toujours pas trouver exactement votre somme».

S : «dans ces conditions, je connais maintenant votre produit et j'ai donc gagné».

Quels sont les deux nombres que j'avais choisis initialement pour que le topographe suisse ait pu trouver le produit de P à partir du seul dialogue ci-dessus ? Vous avez trois mois pour résoudre ce problème apparemment impossible.

SOLUTION DU PROBLÈME N° 2/91 (N°49 - OCTOBRE 91)

Soit : r , la longueur théorique d'un ruban, k , son défaut de longueur (affecté du signe + si le ruban est trop long ou du signe - s'il est trop court).

A une lecture de r mètres faite avec ce ruban correspond donc une longueur réelle de $(r \pm k)$ mètres. Par suite, à une lecture de L' mètres correspondra une longueur réelle L égale à :

$$L' \times \frac{r \pm k}{r}$$

En appliquant cette formule aux deux mesurages de la longueur L effectués :

- l'un, avec le ruban trop court (défaut de longueur k_1) et ayant donné pour résultat $L' = 250,10$ m,

- l'autre, avec le ruban trop long (défaut de longueur k_2) ayant conduit à $L' = 249,75$ m,

on obtient les relations :

$$(1) L = 250,10 \frac{r - k_1}{r} = 249,75 \frac{r + k_2}{r}$$

avec, d'après l'énoncé, $k_1 + k_2 = 0,07$ m.

De (1) on déduit aisément :

$$\frac{k_1 + k_2}{r} = L \left(\frac{1}{249,75} - \frac{1}{250,10} \right)$$

soit, toutes réductions faites :

$$L = \frac{12492,495}{r}$$

La seule valeur de r donnant une longueur comprise entre 249,75 m et 250,10 m est 50 m. Telle était donc la longueur théorique des deux rubans utilisés. Par voie de conséquence, la valeur cherchée de L est 249,85 m (valeur arrondie au centimètre).

De (1) on déduit également que la longueur réelle du ruban trop court est 49,95 m ($k_1 = - 0,05$ m) et celle du ruban trop long 50,02 m ($k_2 = + 0,02$ m).

Problème n° 3/91

Trois bonnes réponses sont parvenues à la rédaction de XYZ. La solution sera donnée dans le prochain numéro. En attendant, vous trouverez de précieux éléments dans le présent numéro dans la causerie topographique de l'auteur du problème. Vous devriez ainsi pouvoir répondre plus nombreux et bénéficier ainsi de l'abonnement gratuit promis, pour une personne de votre choix.