

# Topographie : un demi-siècle d'évolution technologique

## *partie 2/4*

■ Paul COURBON



## *Les théodolites électroniques ou stations totales*

**A**vec les progrès de l'électronique, la diminution de la taille des distancemètres allait permettre de les associer au théodolite. Tout d'abord en les fixant au-dessus de la lunette, puis ensuite, en les incorporant au théodolite avec une mesure coaxiale par la lunette. Il faut y ajouter la mesure électronique des angles et les progrès de l'informatique permettant aussitôt l'enregistrement de ces mesures dans un carnet électronique que l'on vidait sur un ordinateur dès le retour au bureau. Le théodolite électronique, appelé aussi station totale, était né. Hormis les hauteurs de voyant, tapées manuellement par l'opérateur, plus de fautes de transcription ! Mais surtout un gain énorme de temps et la suppression du fastidieux travail de retaper sur le clavier de l'ordinateur les observations notées manuellement sur le terrain. Mais, ce terme de "station totale" employé par les constructeurs et repris par la plupart des utilisateurs ne fait pas l'unanimité. Pour le Professeur Rudolf STAIGER, tachéomètre ou théodolite électronique serait mieux adapté.

La documentation fournie par certains constructeurs à la pointe du progrès semble contenir des contradictions, parfois inexactitudes, qui n'ont pas facilité mes recherches. Le résultat de celles-ci n'est donc pas absolu.

### **Les premiers appareils**

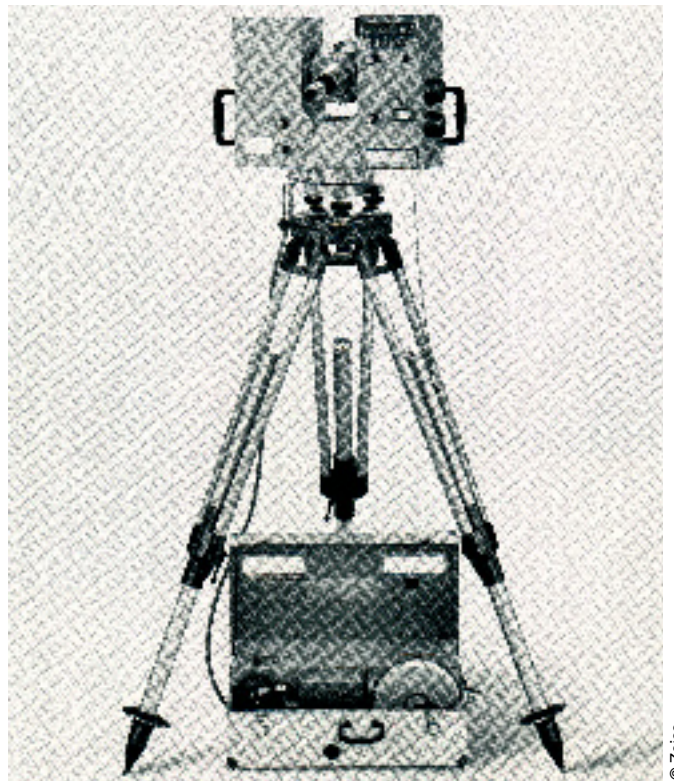
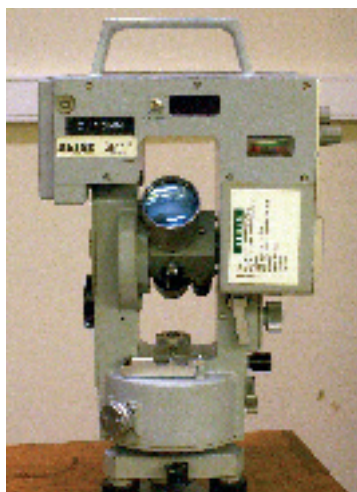
En 1970, ZEISS Oberkochen avait sorti le SM11, à l'étude depuis 1968. Ce tachéomètre mesurait les angles classiquement, mais, première mondiale, il comportait un distancemètre Infrarouge intégré, dont les deux optiques d'émission et de réception étaient coaxiales avec la lunette (voir le paragraphe sur *les distancemètres à onde infrarouge*). Autre innovation, l'origine du cercle vertical était commandée par un compensateur pendulaire et non une nivelle. Ce petit bijou pesait 20,5 kg, plus 2,5 kg pour la batterie et 1,5 kg pour le trépied. Il fallait une claie de portage et de sérieuses aptitudes physiques pour le transporter entre les stations !

■ ■ ■ Mais, depuis 1968, ce constructeur travaillait sur le prototype d'un autre tachéomètre permettant en plus la lecture automatique des angles et l'enregistrement des mesures : le Reg ELTA 14 (abréviation de REGistriern des ELEktrischen TACHymeter). Ce gros appareil gris et peu esthétique était extérieurement le frère jumeau du SM1. Comme lui, il comportait le même distancemètre Infrarouge intégré, coaxial avec la lunette. Les mesures étaient faites automatiquement après pointé et commande par un déclencheur souple. Elles étaient enregistrées sur bandes perforées ! L'électronique était encore en gestation, aussi de nombreuses parties du procédé de lecture relevaient de l'électromécanique, d'où l'appellation "Elektrische". Nous verrons plus loin le principe général des lectures angulaires. Le prototype de 1968, aboutit à un modèle commercialisé en 1972, en petit nombre il est vrai. Cette année-là, un modèle adapté servit à toutes les déterminations des épreuves de lancer, lors des jeux olympiques de Munich. Il fut aussi employé par le cadastre allemand. Identique extérieurement au SM11, il pesait lui aussi 20 kg nu ! La portée maximale de son distancemètre variait de 500 m avec un prisme, à 1200 m avec sept prismes. La précision des mesures de distance était de 5 à 10 mm.

Le doute plane quant au Geodimeter (AGA) dont le modèle 700/710, présenté en 1971/1972, a été qualifié par le constructeur de première station totale. Un auteur lui attribue un distancemètre. Mais, sur la photo d'époque, la lunette du théodolite semble beaucoup trop fine, pour être associée à un distancemètre coaxial. Il faut dire qu'en 1971 le distancemètre était encore un appareil très volumineux. Il n'y a pas non plus de place au-dessus de la lunette pour en fixer un.

Dans le doute, je préfère ne pas classer ce modèle comme station totale. Mais, innovation très importante, les mouvements angulaires sont mesurés électroniquement et enregistrés sur le Geodat, que Geodimeter présente encore comme premier enregistreur de mesures. Je n'ai pu avoir de Trimble, qui a racheté Geodimeter, aucun détail sur la réalisation de cet appareil, ainsi que sur l'enregistrement et le stockage des données. De ce fait, je laisse au Reg ELTA 14 le titre de première station totale.

**Le Zeiss SM4, petit tachéomètre qui comme le SM11, mesure les distances électroniquement et les angles optiquement. De la génération suivante, sa taille a diminué et l'affichage de la distance se fait par LED.**



**Le Reg Elta 14. On voit la grosseur de la lunette, à laquelle est intégré le distancemètre coaxial. En haut à droite, la fenêtre où les mesures peuvent être lues une à une. En bas à droite, la petite fenêtre où peuvent être introduits les paramètres du chantier ou des visées. L'électronique n'est pas encore miniaturisée et l'ensemble est très gros. Sous le trépied, dans la caisse, la bande perforée où étaient enregistrées les mesures.**



**En 1968, début de l'association théodolite-distancemètre : un DI 8 monté sur un T2. On voit au sol l'imposant coffret où sont traités les signaux et effectués les calculs.**





**Wild TC1, théodolite électronique de la nouvelle génération avec deux versions : une avec enregistrement des mesures sur coffret extérieur et l'autre avec notation manuelle.**

**Le Wild TC 1000 de la génération suivante.**

**Le tachéomètre électronique est associé à un distancemètre démontable DI 1000 qui a une optique d'émission et une de réception.**



## La nouvelle génération

Les progrès de l'électronique, avec la miniaturisation des appareils de mesure, permet de produire à partir de 1977 des appareils moins encombrants, plus légers et plus performants, se rapprochant des stations totales actuelles. Les progrès de l'informatique permettent un meilleur enregistrement et un meilleur stockage des données.

En 1977, Hewlett Packard (HP) commercialise sa première station totale HP 3820A qui mesurait électroniquement distances et angles. Mais elle n'eut pas grand succès et après le lancement du modèle 3821, HP abandonna la filière. Wild (aujourd'hui Leica) lance sa première station totale TC1 en 1978. Sur la photo d'époque, la lunette et le distancemètre étaient coaxiaux, les mesures pouvaient soit être notées à la main, soit être enregistrées sur une cassette externe. A la même époque, Zeiss Oberkochen lance ses stations ELTA 2, puis ELTA 4, les observations étaient enregistrées sur carnet électronique externe.

Chez Wild, le théodolite T 1000 succéda au TC1 en 1981. Il était couplé au carnet électronique GRE3 et à un distancemètre (DI 1000 ou 2000) monté au-dessus de la lunette et non plus coaxial. Ce distancemètre non intégré pourrait sembler un recul technique. En fait, il était dicté par les conditions du marché de l'époque, certains utilisateurs ne faisant que de la triangulation et voulant éviter le surcoût d'un distancemètre onéreux ! On séparait donc le distancemètre du théodolite. Quant au carnet GRE3, il permettait la codification et l'intégration d'un système de points, en vue de leur implantation.

Dans le modèle TC 2000, produit de 1983 à 1987 on voit réapparaître un distancemètre coaxial avec la lunette, le menu est intégré. Mais, pendant de nombreuses années seront encore produites des stations dans lesquelles les excellents distancemètres DI 1000 ou DI 2000 seront montés au-dessus de la lunette.

En 1986, Geodimeter commercialise le modèle 400 qu'il présente comme la première station totale programmable. Pourtant, le Wild TC 2000 avait lui aussi un menu intégré. Le



© Photos transmises par Jorg Duedal

**le Wild TC 2000 suit le TC 1000. Il retrouve un distancemètre intégré.**



**Le Geodimeter 422 du début des années 1980. Le distancemètre n'est pas coaxial et comporte encore deux optiques séparées.**



**Le Nikon C 100, tachéomètre de base, acheté par mon cabinet en 1990. Il fonctionnait associé à un carnet électronique externe PSION organiser.**

■■■ programme était intégré au théodolite, permettant d'effectuer diverses tâches, telles que implantation ou codification, mais, sans carnet électronique ou micro-ordinateur externe. Le distancemètre était coaxial avec la lunette.

Il y eut d'autres constructeurs européens : Pentax avec sa série ATS, UOMPZ avec le T10E, Geo-Fennel avec le FET 120 et Spectra Precision avec sa série 600 M.

A partir de 1990, les constructeurs japonais font leur apparition en France : Nikon avec le C 100 puis la série DTM, Sokkia avec le SET 500 et la série du même nom, Topcon avec la série GPS, etc.

Cependant, les premières stations totales valaient cher : entre 100 000 et 150 000 F en 1985, ce qui, compte tenu de l'inflation, correspondrait à 30 ou 40 000 € aujourd'hui. Bien que certains cabinets en aient fait l'acquisition avant, il fallut attendre 1984-1985 pour voir leur généralisation chez les géomètres français.

### ■ La motorisation et la robotisation

En 1982, la société ETH de Zürich s'était lancée dans un projet de motorisation qui aboutit en 1986 au prototype Topomat. Entre 1985 et 1987, le constructeur suédois AGA Geotronics met au point un instrument servo-commandé capable de suivre une cible dans les applications hydrographiques. Cela aboutit en 1990 au système Geodimeter 4000, première station robotisée du monde. Leica suivra en 1995 seulement, avec la station TCA 1000 et plus tard avec la RCS 1100. D'autres constructeurs aussi, tel Zeiss (Elta S10/20), ou Topcon (AP-L1A). Là, plus besoin d'un opérateur derrière la station totale qui est reliée au prisme par radio. Le porteur de prisme travaille seul et, à partir d'un tableau de commande fixé à la canne du

prisme, il transmet toutes ses instructions à la station. De nouvelles versions avec d'autres développements et d'autres constructeurs ont suivi.

Cependant, à côté des stations robotisées existent aussi les stations motorisées qui ne sont pas commandables de l'extérieur, mais qui peuvent rechercher et se pointer sur un prisme. Plusieurs types de stations motorisées existent :

- Les stations manuelles avec motorisation assistée. Ils peuvent rechercher un prisme après avoir été grossièrement orientés ou se mettre dans une direction dont on a programmé les angles, mais ils ne peuvent pas être télécommandés. Ce sont les Leica TCM 1800, les séries S de Zeiss, 600 AF de Topcon, R 100 de Pentax, TPS 5000 de Leica. Ces stations motorisées sont utiles pour des auscultations ou mesures de stabilité.
- Dans les stations motorisées, il y a deux types de recherche automatique d'un objectif : les servothéodolites associés à une vidéocaméra. Ce sont les séries TM 3000 de Leica, ou E2-SE et ST de Kern. La recherche automatique peut être aussi faite par capteurs (Zeiss S.10, Leica TDA 5000, Leica TCA 1800, etc.).
- Il y a aussi les stations motorisées qui poursuivent automatiquement la cible. Parmi elles, celles qui font les mesures en statique, c'est-à-dire qu'elles peuvent suivre les mouvements du prisme après qu'une mesure ait été faite, mais c'est à l'opérateur de décider de la mesure suivante à la fin du mouvement du prisme. Cela peut être utile quand on travaille dans des zones de végétation où il n'est pas facile de voir le prisme. D'autres stations motorisées peuvent faire les mesures en cinématique, mais avec un mode tracking.



Station robotisée Topcon AP-L1A de 1999. L'antenne permet la liaison radio avec l'opérateur qui tient le prisme. Ici, il n'y a pas de clavier associé au prisme, mais un ordinateur portable sur lequel l'opérateur peut commander la station et faire le dessin en DAO au fur et à mesure du lever. Quant à la canne, elle porte six prismes, ce qui évite à l'opérateur occupé à son lever d'avoir à l'orienter.





**Le Leica TCM 2300 fait partie des stations motorisées. Il peut chercher ou suivre un prisme automatiquement, mais ne peut pas être télécommandé.**

**Son tableau de commande, plus complexe que celui d'un appareil de base, permet d'accéder à de nombreuses fonctions et d'introduire des paramètres plus facilement.**



### ■ Les distances sans prisme

AGA Géotronics fut aussi à l'origine des mesures de distance laser appliquées au théodolite, suite à une technique utilisée lors des coulées d'acier en fusion. On les trouve dans le système 600 des stations robotisées, introduit en 1994 et qui permet au choix, les mesures de distance infrarouge ou laser.

Il faut ajouter que l'apparition des lasers sur les théodolites amena le centrage laser sur les stations au sol.

LEICA commercialisa en 1998 sa première station totale utilisant les ondes infrarouges et le laser : le TPS 1100.

Le distancemètre laser associé au théodolite était une révolution pour les levers architecturaux et les levers de façades sans passer par la photogrammétrie. Au début, la portée de ces mesures laser était inférieure à 50 m. En 2005, on arrive à 2 ou 300 mètres et la plupart des tachéomètres électroniques en sont équipés.

## Mesure électronique des angles horizontaux

Comme nous l'avons vu plus haut, Zeiss Oberkochen, aujourd'hui absorbé par Trimble, fut pionnier en la matière avec le Reg Elta 14, bien que l'appareil ne soit pas classé électronique, mais électrique.

Dans la station totale, la structure de base du théodolite optique n'a pas changé. Il y a toujours une embase, une alidade, une lunette tournant autour de deux axes et les lectures angulaires se font toujours sur un cercle de verre (limbe). Là s'arrête la similitude. Il n'y a plus de mesure stadimétrique des distances, mais un distancemètre électronique incorporé. Le

cercle de verre n'est plus gravé, mais comporte un codage électronique. Seul le pointage est fait par l'œil de l'opérateur, mais, la lecture des mesures et leur enregistrement ne font plus intervenir ni son œil, ni son crayon !

Nous avons vu précédemment la mesure électronique des distances. En ce qui concerne les lectures angulaires, plusieurs types de procédés peuvent être envisagés, mais nous allons en premier lieu nous attacher au Reg ELTA 14.

### ■ L'ancêtre Reg Elta 14

La description en détail du procédé de mesure a été faite par les Professeurs Deumlich et Staiger (voir bibliographie) et nous ne donnerons que le principe général de cet appareil.

En premier lieu, le limbe en verre avec les graduations gravées des théodolites classiques avait été remplacé par un limbe en verre portant un codage absolu. Ce limbe était lié aux mouvements de la lunette par un dispositif complexe de roues embrayables comportant 400 dents correspondant donc à un mouvement de 1 gon.

Le système de lecture se faisait en deux temps, comme pour les théodolites classiques, avec en premier lieu une estimation approchée. Cette estimation était déduite d'un contact électrique en or sur quatre secteurs du limbe. Un classement matriciel décodait les informations reçues pour obtenir cette estimation. Un dispositif lié au fin mouvement de  $\pm 0,8$  gon permettait d'avoir les appoints et les mesures étaient données au mgon. Quant au cercle vertical, son origine n'était plus déterminée par une nivelle, mais par un compensateur pendulaire.

Les LED (Light Emission Diod) et cristaux liquides n'existaient pas encore. On pouvait cependant lire les trois mesures d'un point, l'une après l'autre, sur une fenêtre à tambour, comme pour le MS11. Cependant, les résultats étaient directement enregistrés sur bande perforée.

### ■ Les différents procédés de mesure électronique des angles

#### • Codage absolu sur plusieurs "tracés type code"

C'est ce type de codage qui avait été adopté sur le Reg ELTA 14, mais avec un procédé de lecture différent des procédés actuels. Il a été repris sur des appareils de la génération suivante : ELTA 2, S10 et S20 de Zeiss et HP3820 de Hewlett Packard.



**Le codage absolu du limbe du Reg Elta 14, avec dans la partie interne le codage correspondant aux quatre quadrants.**

■ ■ ■ • **Codage absolu sur un "tracé type code"**

La lecture électronique d'un tel codage a été rendue possible par les capteurs CCD (Charge Coupled Devices) mis au point par les laboratoires Bell à partir de 1970. Mais, le temps de développer cette technique, elle ne fut employée que plus tard par les constructeurs.

Le cercle verre comporte des graduations encodées. Par l'intermédiaire d'une ligne CCD (Charge Couple Device), le capteur transforme la lumière d'un émetteur traversant le limbe en signal électrique digitalisé. Un convertisseur traite ensuite ce signal électrique en image numérique. L'angle précis est déduit d'une interpolation. C'est le procédé adopté sur les Leica T 1000 ou 1600, entre autres. Depuis 1984, LEICA utilise dans ses stations totales, des encodeurs absolus qui conservent la lecture, même si on éteint la station au cours d'un tour d'horizon. Cela évite aussi de réinitialiser le cercle vertical.

• **Codage binaire et "tracés type code" parallèles**

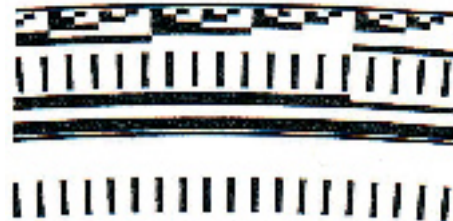
Le codage est fixé sur des cercles concentriques appropriés, chaque graduation ayant une période double de la précédente. Ce procédé est coûteux, mais il permet de conserver l'angle mesuré après l'extinction de l'appareil. Je ne peux citer d'appareils employant ce procédé.

• **Codage incrémenté de "graduations linéaires"**

Par une application numérique et analogique, les traits de la graduation sont incrémentés. On appaire une diode électro-luminescente et une photodiode pour faire ressortir le caractère clair-obscur de ces graduations. Suivant les appareils, le rayon émis par la diode lumineuse est réfléchi par le cercle ou le traverse avant d'être capté par la photodiode. Sur le TC1 de Wild, deux systèmes de balayage diamétralement opposés étaient utilisés. Le limbe, de 80 mm de diamètre était recouvert d'un raster réfléchissant de 12 500 graduations correspondant à un intervalle de 32 mgon. Une grille de phase permettait une interpolation de 1/16, ce qui permettait d'apprécier le mgon grâce aux deux systèmes diamétralement opposés. Bien qu'avec des systèmes de lecture ou d'interpolation propres, les appareils E2 de Kern, les séries E de Zeiss, GTS de Topcon ou DTM 750 de Nikon obéissaient à un procédé de base identique.



**Codage incrémenté des graduations.**



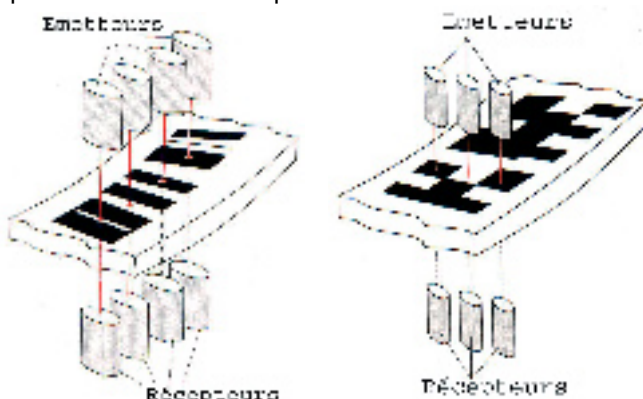
**Sur le Zeiss Elta 2, codage absolu avec des graduations intérieures décalées d'un demi-intervalle.**

• **Procédés de haute précision**

Pour les mesures très précises (0,1 à 0,2 mgon), les techniques précédentes comportent des compléments ou des variantes.

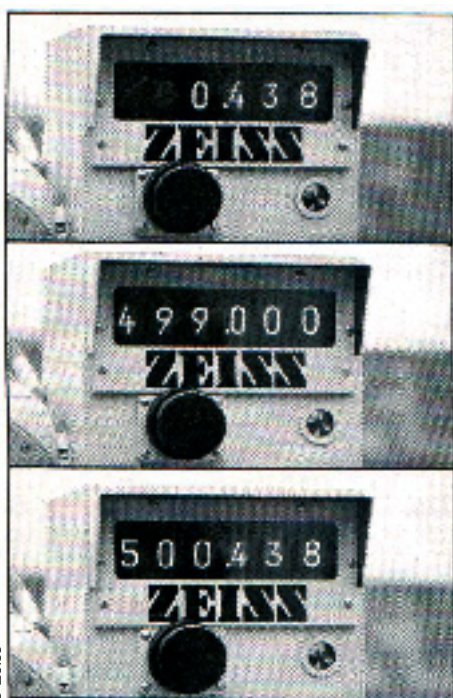
L'ELTA 2, comme nous l'avons vu, utilise le codage absolu. Ce codage absolu est situé du côté extérieur du cercle. Mais, il est complété vers l'intérieur par deux séries de graduations linéaires coaxiales de 0,5 gon d'écart. Ces deux séries concentriques sont décalées l'une par rapport à l'autre d'une demi-graduation et un système de prismes permet de faire les lectures sur deux zones diamétralement opposées. Ce procédé permet d'éliminer l'erreur d'excentricité et d'obtenir des lectures à 0,25 gon près. Pour les mesures fines (appoint), le secteur de 0,25 gon peut être divisé par une grille en 1 250 intervalles. Grâce à une lame à faces parallèles à laquelle est associée une lame raster graduée non linéairement, on peut faire une lecture à 0,2 mgon. Sur l'E2 Kern, le cercle est incrémenté avec 20 000 divisions. Les deux côtés diamétralement opposés du cercle sont superposés avec un léger changement d'échelle (1,005) qui provoque un moiré. Son analyse à travers quatre photodiodes permet la lecture à 0,1 mgon.

Sur la série T2000 et T3000 de Leica, le constructeur innove avec un procédé nommé "lecture dynamique du limbe". Le cercle comporte 1 024 secteurs alternativement clairs et sombres, dont un secteur origine. A chaque mesure angulaire, un mécanisme fait défiler le cercle sur un tour complet, face à deux dispositifs de lecture : l'un lié à la partie fixe de la station et l'autre à la partie mobile. Le comptage différentiel des graduations et le déphasage entre les dispositifs de lecture donne la lecture angulaire exacte. La lecture tient compte de la moyenne des 1 024 angles déterminés par les graduations du cercle entier, éliminant ainsi les erreurs de graduation et d'excentricité. Cependant, le défilement du cercle sur un tour complet prenait du temps (jusqu'à 1 s) et n'était pas adapté au suivi de cible. De plus la méthode était coûteuse, aussi a-t-elle été abandonnée.



**Codage absolu sur un tracé codé.**

**Codage binaire sur tracé parallèle.**



**Système de lecture du SM11 sur tambour chiffré. L'appoint indiquant les mètres et les décimales commence par 0. La longueur totale ne peut donc être 499,438, mais 500.438.**

### ■ Affichage des lectures

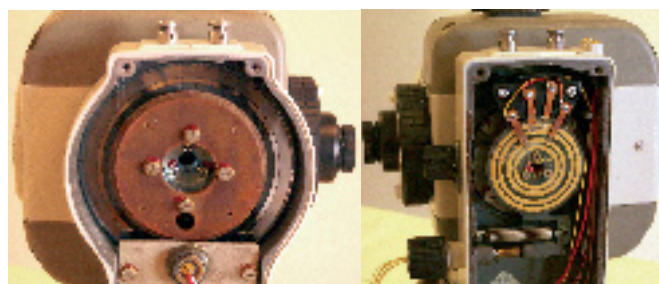
Les LED (Light Emission Diod) ne furent employées pour la première fois en topographie qu'en 1971 sur les calculatrices HP. Les cristaux liquides arrivèrent deux ou trois ans après. Il fallut attendre encore un peu pour les voir apparaître sur les appareils de terrain. Avant la généralisation de cette nouvelle technique, les chiffres sur tambour, comme pour les compteurs kilométriques de voitures servaient à afficher les résultats. C'était le cas pour certains distancemètres électroniques et pour le ZEISS SM11 (voir le paragraphe : *Les premiers appareils*).

## Mesure électronique des angles verticaux

Le principe de lecture et d'enregistrement reste le même que pour les angles horizontaux. C'est la définition de l'origine 0 des angles verticaux qui va changer. Pas de bulle à régler car il y a un compensateur.

Sur les théodolites optiques de la dernière génération, il y avait déjà un compensateur pendulaire qui agissait directement sur la lecture en modifiant le chemin optique. Seul le Kern DKM2 avait innové avec le premier compensateur liquide.

Sur le Reg ELTA 14, le compensateur était pendulaire, comme sur les théodolites optiques précédents. En 1977, HP avec sa série 3800, allait généraliser les "compensateurs à liquide". Dans ce type de compensateur, la partie mécanique du pendule a disparu. Le rayon émis par une diode se réfléchit sur la surface d'un liquide avant d'être recueilli par un capteur. La surface du liquide du compensateur étant horizontale, ce dispositif permet ensuite de déterminer la position exacte du 0 sur le limbe et de supprimer ou rendre la collimation verticale très faible. Plusieurs variantes de compensateurs à liquide ont été conçues par les différents constructeurs, mais le mercure qui servait de liquide dans les premiers modèles a été abandonné. Souvent, une petite rotation



**D'un côté, cercle vertical incrémenté d'un appareil Nikon. De l'autre côté, balais-contacts liés à la molette de fin pointé.**

aller-retour de la lunette, de part et d'autre de l'horizontale, permet d'initialiser le cercle vertical.

## Précision des stations totales

Le remplacement de la gravure mécanique des limbes en verre par une graduation codée ou incrémentée électroniquement a diminué l'erreur de graduation des cercles. Aussi, l'ignore-t-on sur les appareils de classe moyenne. Leur précision est de 1 à 2 mgon contre 3 à 10 mgon pour les anciens tachéomètres optiques. De plus, des procédés annexes ont permis de supprimer l'erreur d'excentricité.

Il faut aussi noter que le procédé de lecture électronique n'est pas adapté aux multiples réitérations avec origines différentes. Aussi, même avec les appareils de grande précision (0,1 à 0,2 mgon), les fastidieuses observations avec multiples réitérations sur origines différentes du limbe ont disparu. En ce qui concerne certains de ces appareils, nous avons vu l'utilisation de procédés complémentaires, permettant de diminuer encore l'erreur de graduation.

Comme sur les théodolites optiques, les autres erreurs sont éliminées par un double retournement de la lunette. Mais, cela ne signifie pas que la précision angulaire de 0,1 mgon puisse être obtenue par une simple mesure CG-CD avec un théodolite de précision! Quand on vise un objectif lointain, la précision dimensionnelle de cet objectif et les conditions atmosphériques doivent être évidemment prises en compte, une seule paire de mesures ne peut alors suffire... Pour les distances courtes, d'autres paramètres entrent en jeu.

Le caractère absolu de l'informatique et de l'électronique a fait négliger la réalité du terrain à trop d'opérateurs. L'abandon de la triangulation pour le GPS a trop souvent fait oublier la correspondance "dimension-angle" : 0,1 mgon est l'angle sous lequel on voit un objet de 1 cm de diamètre à 6,4 km, ou de 0,1 mm à 64 m et cela est négligé, même dans l'enseignement!

## Levés codés, dessin numérique sur le terrain

L'une des contraintes du lever de détail était le dessin manuel d'un croquis de terrain. Le porteur de prisme chargé de ce croquis y notait les numéros de tous les points levés, ainsi que le signe conventionnel correspondant ou les liaisons des détails





**Le porteur de prisme a en bandoulière l'ordinateur portable sur lequel il commande la station robotisée et sur lequel, il dessine en DAO au fur et à mesure du lever. On voit en bas à gauche l'antenne permettant la liaison avec la station robotisée. La souris est du type crayon. Le logiciel de DAO est ici le TOPOSOFTE.**

- linéaires. Cela alourdissait les opérations de terrain et, surtout, le report au bureau. C'est ainsi que fut imaginé le codage, l'opérateur tapant un code, tant pour les points que pour les lignes à tracer, en accord avec celui adopté sur le logiciel de Dessin Assisté par Ordinateur (DAO). Avec le carnet électronique GRE3, Wild semble avoir été le précurseur, mais, c'était aux utilisateurs à programmer un lien informatique entre le théodolite et le logiciel de dessin.

Cependant, le codage avec son facteur humain, est encore sujet à erreurs ou oublis. Actuellement apparaissent des logiciels, tels GEOVISUAL ou TOPOSOFTE. Le porteur de prisme a en bandoulière un petit ordinateur portable, en liaison radio ou bluetooth avec la station totale, et sur lequel il peut dessiner le levé avec un logiciel de DAO, au fur et à mesure que sont déterminés les points. Le dessin étant fait sur le terrain auquel il peut être immédiatement comparé, la méthode diminue les risques d'oublis et d'erreurs. Il diminue aussi le temps d'exploitation au bureau, mais il augmente celui de terrain. Nous revenons au bon procédé de la planchette, mais d'une manière informatique !

## La technique Bluetooth

C'est une spécification des télécommunications qui utilise une technologie radio courte distance destinée à simplifier les connexions entre appareils électroniques. Elle supprime les liaisons par câble entre de nombreux appareils. Cette technique fut étudiée à partir de 1994 par le constructeur suédois Ericson. Son nom a été donné en hommage au roi Harald 1er dit Blåtad (Dent bleue), qui unifia durant son règne Suède, Norvège et Danemark. Elle voit son application effective en 1999, mais il faut attendre 2002 pour voir ses débuts en topographie. Elle permet, peu à peu de s'affranchir des innombrables fils joignant les appareils topographiques. Elle utilise les bandes de la fréquence ISM (Industrial Scientific Medical) qui vont de

2,4 à 2,4835 GHz. On pense que dans les années à venir elle va permettre des débits 100 fois plus importants.

## Les stations totales en 2005

Comme vu précédemment avec les distancemètres, l'arrivée du GPS a exclu le théodolite de la plupart des travaux de canevas topographique ou géodésique. Par contre, employées par des utilisateurs de plus en plus nombreux, le nombre de stations totales a explosé. Outre les levers de détail, les travaux publics, les levers architecturaux, elles sont utilisées en industrie, pour la surveillance d'ouvrage et les auscultations qui peuvent être faites en mode automatique. Le meilleur exemple de ce type de travail a été réalisé à Amsterdam par les travaux spéciaux de l'IGN.

Enfin, les constructeurs, LEICA et TRIMBLE en particulier, recherchent activement un appairage GPS-Station totale (voir le chapitre GPS).

## Les regroupements en topographie

Dans les pages qui ont précédé, nous avons beaucoup parlé d'AGA Geotronics, précurseur dans de nombreux domaines, de ZEISS lui aussi à la pointe de la technique et enfin de WILD. Aujourd'hui, ces noms prestigieux ont disparu. Du fait de l'arrivée de constructeurs japonais (Nikon, Sokkisha, Topcon) et d'une concurrence de plus en plus dure, de nombreux regroupements se sont faits en topographie. En 1988, après l'association de Wild avec le photographe Leitz, l'association Wild-Leitz absorbe KERN, puis 1990 voit la fusion de Wild-Leitz avec la Cambridge Instrument Company, pour former LEICA (contraction de Leitz et Cambridge). En 1997, Zeiss est racheté par Spectra-Precision qui est à son tour absorbé en 2001 par la marque de GPS américaine TRIMBLE, laquelle rachète aussi le suédois AGA Geotronics. Nous verrons plus loin les regroupements qui se sont faits en lasergrammétrie, technique pourtant nouvelle...

## Bibliographie

**RUEGER J.M. 1990** *Electronic Distance Measurement*, Springer-Verlag, Berlin

**CHEVES M. 2000** Geodimeter the first name in EDM, Professional Surveyor Magazine n°2.

**DEUMLICH F. - STAIGER R. - 2002** *Instrumentenkunde der Vermessungstechnik*, 9<sup>e</sup> édition, Wichmann, Heidelberg. Cet ouvrage remarquable devrait figurer dans la bibliothèque de toutes les écoles de topographie. Il n'existe malheureusement pas en version anglaise ou française.

**PUGH Nathan - THOMPSON Carl - WALLACE Daniel - 2005** *Naviguer dans le monde sans fil XYZ* n°104

**Sites Internet :** [www.wild-heerbrugg.com](http://www.wild-heerbrugg.com) Musée virtuel Wild réalisé par Jorg Duedal (c'est le site le plus complet, réalisé bénévolement par un ancien employé de Wild.)  
<http://americanhistory.si.edu/collections/surveying/index.htm>





## *Autres instruments de mesure ou de lever*

### **Les niveaux code-barres (ou niveaux de précision numériques)**

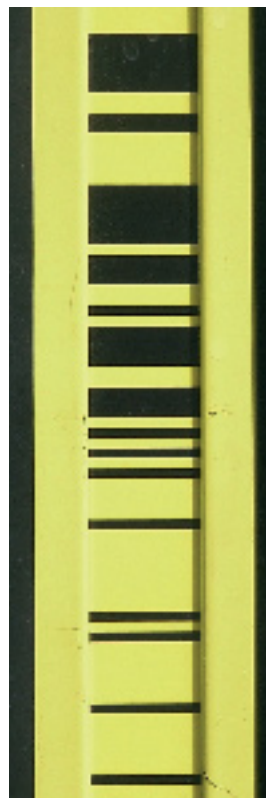
Le code-barres fit son apparition en 1974, employé entre autres pour la gestion des prix dans les centres commerciaux. Les constructeurs de matériel topographique le transposèrent au nivellement, les graduations centimétriques des mires étant remplacées par une graduation "code-barres" et l'œil humain par des diodes détectrices.

La lecture de la mire codée repose sur un système électronique de traitement d'image, intégré à l'instrument. Cela permet d'avoir directement les dénivellations et de les mettre aussitôt en mémoire. On évite ainsi les fastidieux et nombreux calculs de contrôles auxquels devaient s'astreindre auparavant les niveleurs, à partir des trois lectures sur les trois fils du niveau. Pour le nivellement de précision, toutes les procédures de contrôle faites manuellement sur les carnets d'observation de l'IGN étaient impressionnantes !

Rentré au bureau, on peut vider les observations sur ordinateur. Ce nouveau procédé évite ainsi les erreurs de lecture et de transfert. Le gain de temps est encore augmenté et les risques d'erreur sont quasiment éliminés.

Il est aussi possible, si on le désire, de noter sur un carnet les observations affichées à l'écran. Ce qui peut avoir une utilité au cours de la présence sur le chantier.

Grâce à un programme intégré, on peut encore calculer en continu les points de rayonnement, ou encore compenser un cheminement directement, après fermeture.



**Une mire de nivellement  
"code-barres".**

© Instrumentenkunde der Vermessungstechnik

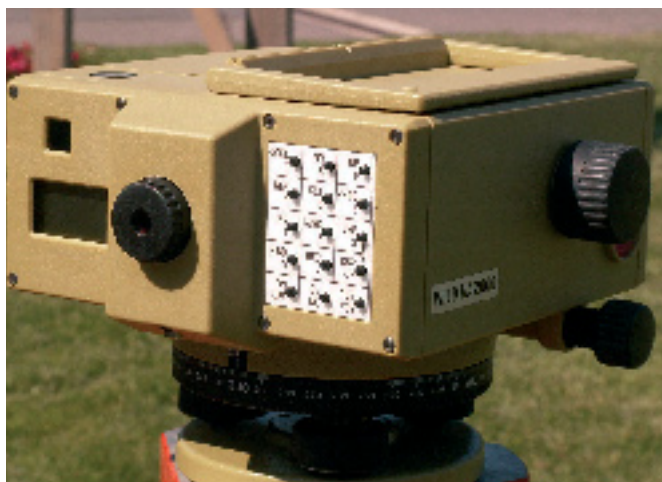


**A gauche, des mires  
classiques, à droite une  
mire "code-barres"**





Un niveleur classique avec son carnet. Fil supérieur, fil niveleur, fil inférieur. Les trois lectures étaient suivies de soustractions pour contrôle. Dans le nivellement de précision, de multiples contrôles étaient faits sur les visées AV, AR et en fin de page.



Le Leica NA 2000, premier niveau numérique apparu sur le marché. Les multiples boutons permettent d'introduire les altitudes des repères de départ et d'arrivée ou de choisir différents modes opératoires.



Le niveau Wild NAK2 de la dernière génération avant l'apparition des niveaux numériques. Cet excellent niveau, sur lequel peut être adaptée une lame à faces parallèles pour lectures au 1/100 mm, a un compensateur pendulaire. La bulle sphérique de l'embase suffit pour la mise en station.



Le NiDi 12 de Zeiss devenu Trimble après l'absorption de Zeiss.

Cependant, si tout le dispositif de lecture, de mémorisation et de calcul relève de l'électronique et de l'informatique, le système de définition de l'horizontalité de l'axe optique reste mécanique, avec un compensateur pendulaire, comme sur les niveaux optiques.

Nous rappelons que le compensateur pendulaire, bien qu'apparu à la fin des années 1960, ne se généralisa qu'au milieu des années 1970. Il nécessite que l'horizontalité de l'axe optique du niveau soit dégrossie avec la nivelle sphérique à une dizaine de cgonns près. Le compensateur pendulaire agit sur la lecture en modifiant le chemin optique.

Le premier niveau code-barres, le NA2000 fut produit par Wild-Leica en 1990, Topcon suivit peu après avec les modèles DL-101 et 102. Par la suite, Sokkia avec le modèle SDL 30 et



Zeiss avec le modèle DiNi 12 produisent aussi ce type d'appareil.

L'IGN fit l'acquisition de son premier niveau code-barres, le NA3000 de Leica, en 1993, qui associé à une méthode motorisée, permettait de faire 50 km de nivellement de précision dans la journée.

## Les scanners lasers (ou lasergrammétrie)

Cette technique toute nouvelle n'a pas encore défini ses termes, aussi peut-on la trouver sous plusieurs dénominations. Devais-je la classer avec la photogrammétrie ? Son aboutissement étant un modèle numérique du terrain et non un plan proprement dit, j'ai préféré la traiter à part.

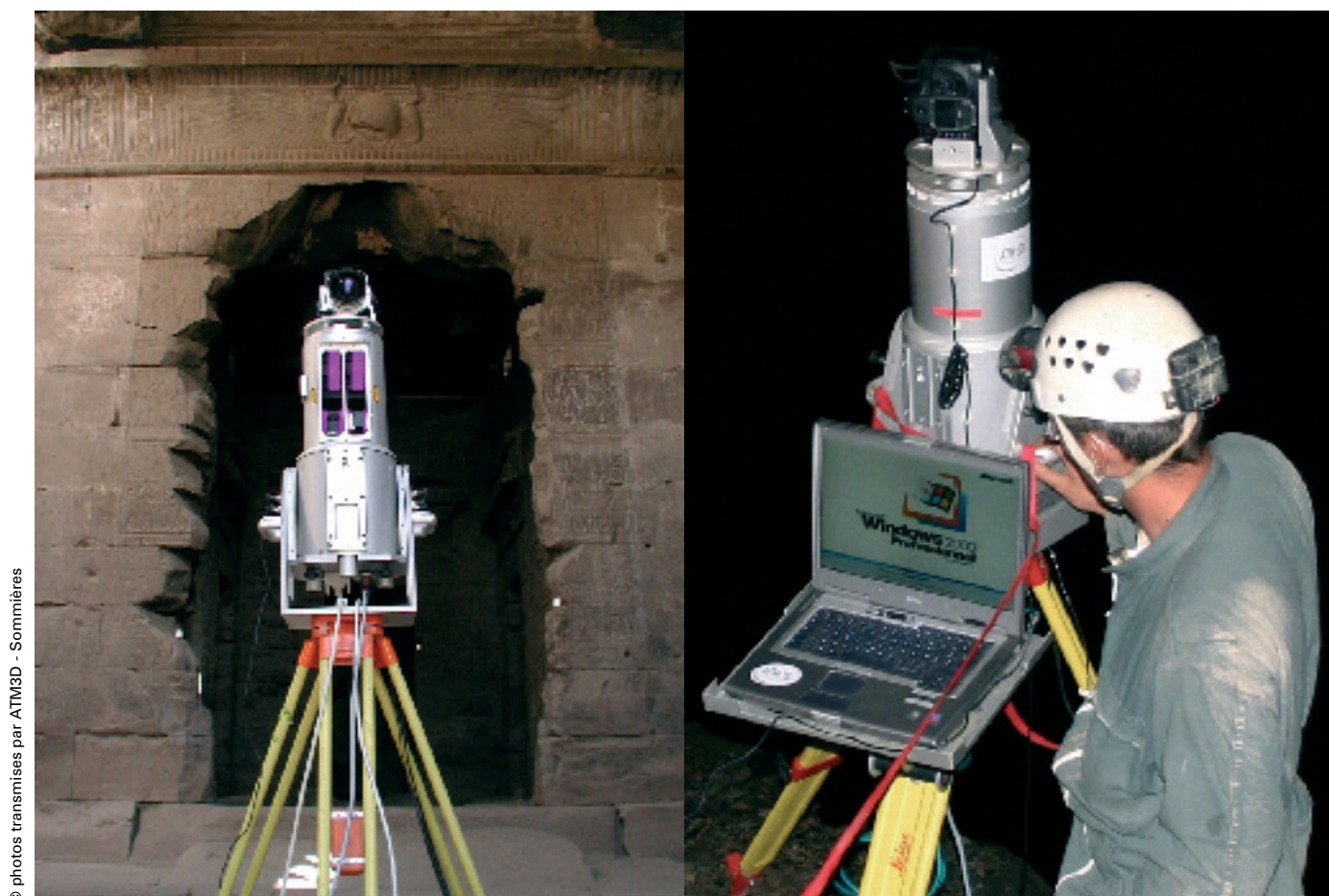
Elle découle de l'application de la technique des diodes laser pulsées, vue précédemment avec les distancemètres laser, qui pouvait émettre jusqu'à 10 000 tirs à la seconde. Un système de miroirs pivotant permet un balayage laser vertical, puis horizontal, alliant mesures angulaires et mesures de distance. On peut ainsi obtenir en quelques minutes un nuage de centaines de milliers ou de millions de points 3D.

Deux progrès techniques ont permis le développement des scanners laser. D'abord, l'arrivée des sources laser à semi-conducteurs, permettant des longueurs d'onde plus élevées avec de plus fortes puissances, a permis d'accroître la portée des mesures de distances laser sans réflecteur. Elle peut atteindre maintenant 1 km. Il faut y ajouter les progrès de l'informatique permettant de traiter plus rapidement une grande masse de données.

Les distances peuvent toujours être mesurées par le déphasage entre l'onde émise et celle reçue (Leica 4500, FARO). Mais aujourd'hui, avec les progrès sur la mesure du temps, on peut aussi déduire les distances à partir du temps de trajet, appelé à cette occasion "temps de vol" !

Ils trouvent leur meilleure application dans les levés architecturaux 3D (patrimoine culturel), les levés de carrière, falaises ou glissements de terrain. Souvent couplés à une caméra numérique interne qui facilite la lecture de l'image, ils génèrent un "nuage de points", à une cadence qui peut aller de 2 000 jusqu'à 10 000 points par seconde.

Une façade levée par balayage peut comporter un million de points ou plus, lesquels donnent une image fidèle qu'il suffit



© photos transmises par ATM3D - Sommières

**Lasers Riegl LMS Z390 et 4201 utilisés à Karnak (Egypte) pour des levés architecturaux et dans le Gouffre de la Pierre Saint-Martin pour lever et déterminer le volume de l'immense salle de la Verna. Remarquer la caméra couplée Nikon D100 située au-dessus de l'appareil.**

■ ■ ■ de référencer en se calant sur des points d'appui (cibles réfléchissantes) déterminés en XYZ, dont le nombre varie en fonction de la morphologie et de la dimension du lever.

La fondation EDF avait financé en 1994 le levé de la grotte Cosquer dans les calanques de Cassis. Ce levé, encore expérimental, fonctionnant avec une technique mise au point par M. SOISIC, préfigurait l'arrivée des scanners-lasers. Pour rappel, le Soisic est une mesure par triangulation avec une portée de l'ordre de 25 m (pour le modèle S25 qui comportait un bras avec à une extrémité l'émetteur laser et sur l'autre extrémité un capteur CCD qui photographiait la position du spot laser sur l'objet) alors que les autres scanners fonctionnent avec des mesures de "temps de vol" du laser. La même année, Cyrax expérimentait lui aussi le scanner laser aux Etats-Unis. Optech parle des premières recherches en 1987. Bien que récente, cette technique a fait l'objet de regroupements. Soisic a été absorbé par Mensi, lui-même absorbé par Trimble, Cyrax a été absorbé par Leica. Subsistent encore, entre autres, le constructeur autrichien Riegl, FARO et l'américain Optech. Ces appareils sont encore d'un prix élevé oscillant entre 70 000 et 130 000 euros en 2005, sans le logiciel de traitement.

La difficulté actuelle réside dans le traitement et l'exploitation du volume monumental des mesures effectuées. Les outils informatiques traditionnels ne sont plus adaptés à la gestion de fichiers de plusieurs millions ou centaine de millions de points. A titre d'exemple, le relevé d'un tunnel de 7 km de long par la société Atm3d comportait 950 millions de points ! Aussi, leur mise en œuvre nécessite des spécialistes, surtout en ce qui concerne l'exploitation des résultats et l'intégration aux logiciels topographiques. De même certains détails très fins, tels que les arêtes de petits motifs sculpturaux, peuvent passer entre les points du semis. On essaye d'y remédier par un maillage entre les points.

Sans caméra numérique intégrée ou couplée, on obtient seulement un semis de points semblable à un Modèle Numérique de Terrain (MNT) permettant de nombreuses

applications. Mais, quand il y a des peintures, telles que dans les grottes préhistoriques Cosquer ou Chauvet, des images sont nécessaires pour compléter le travail du scanner-laser, ce qui demande, évidemment un éclairage. Quant à la caméra numérique intégrée ou couplée, elle facilite grandement l'exploitation des résultats en complétant le semis de points par une image numérique superposée. Mais, elle doit être calibrée auparavant pour permettre de superposer la perspective photographique au semis de points en 3D.

## Levers lasers aéroportés ou Light Detection And Ranging (LIDAR)

A cheval sur la topométrie et la photogrammétrie et ayant quelques similitudes avec la lasergrammétrie, cette nouvelle technique permet d'obtenir un MNT par un balayage laser à partir d'un avion ou d'un hélicoptère.

Au cours du balayage d'une bande de 50 m de large effectué à partir d'une hauteur de 50 mètres, on peut obtenir 30 points par m<sup>2</sup> avec une précision de  $\pm 7$  cm.

Pour un balayage à plus petite échelle, c'est-à-dire pris de beaucoup plus haut, on a une densité d'un point tous les 2 ou 4 m<sup>2</sup> avec une précision de 15 cm en altitude et du double en planimétrie.

Pour un laser bathymétrique, jusqu'à une profondeur maximale de 50 m, on peut obtenir une densité d'un point pour 4 à 25 m<sup>2</sup>, une précision de 0,25 m sur les profondeurs et de 2,5 m en planimétrie. (Documentation Fugro Geoid). ●

## Contact

**Paul Courbon**

Ingénieur des Travaux géographiques (IGN)

Géomètre-expert DPLG

paul.courbon@yahoo.fr

## Bibliographie

**CHAZALY Bernard - LAOZE Emmanuel 2005** *Le relevé par scannage 3D du temple d'Opet à Karnak, XYZ n°102.*

**CHAZALY Bernard 2006** *La lasergrammétrie appliquée à l'auscultation d'ouvrages d'art XYZ n°106.*

### Suite dans le numéro 112 d'XYZ :

#### L'INFORMATIQUE ET LE TRAITEMENT DES DONNEES

*Les ordinateurs et micro-ordinateurs*

*Les calculatrices*

*Exploitation et mise en œuvre de l'informatique*

*Accessoires annexes*

*L'évolution de l'informatique vue à l'IGN.*



Lever d'une façade. La photo complète et permet de mieux comprendre le semis de points.