

Quarante ans après !

Équipements et méthodes en topographie

■ Paul COURBON

Cela a un parfum d'Alexandre Dumas ! Avec les années qui s'écoulent et l'âge qui avance, le temps nous semble fuir de plus en plus vite, j'ai l'impression que 1979 c'était hier ! Ô temps suspend ton vol... Cette année-là, je quittais le centre permanent de l'ENSG

à Forcalquier que j'avais créé deux ans plus tôt à la demande de Raymond d'Hollander. Il était destiné aux élèves étrangers qui n'ayant pas le niveau requis, ou qui ne pratiquant pas suffisamment la langue française étaient en échec scolaire. Aujourd'hui, bien que ne fonctionnant plus que durant la période estivale, pour les stages de terrain, ce centre existe toujours. Ayant choisi depuis peu d'habiter à Forcalquier, je suis allé évidemment lui rendre visite, avec en tête les anciennes images de 1979.

Dans les salles, l'informatique a fait sa révolution. Les micro-ordinateurs ont pris possession de toutes les tables, autrefois vides et réservées au dessin manuel, ou aux feuilles de calcul. Les appareils topographiques les plus modernes ont remplacé les vieux Sanguet, Wild T2, stadias, planchettes, fil invar, décamètres-rubans et autres "monstres" antédiluviens ! Les ordinateurs et leurs deux écrans ont remplacé les deux vieux restituteurs Poivilliers dont nous avons hérité...

Coincidence, comme seul le destin en réserve : en cette même année 1979 était créée l'Association française de topographie, association à laquelle je n'adhérais qu'une vingtaine d'années plus tard. Cette coïncidence de date et les souvenirs du centre ENSG qui lui sont associés, me permettent, mieux que d'autres plus jeunes que moi, de poser un jalon précis dans l'évolution des techniques topographiques.

■ L'état d'esprit et l'état des lieux

En 1979, nous n'avions pas encore abordé le consumérisme actuel, où les progrès incessants de la technique amènent de nombreux professionnels à changer certains types de matériel tous les quatre ans, durée moyenne des leasings. En 1979, de nombreux géomètres utilisaient encore des tachéomètres Sanguet ou théodolites achetés 20 ou 30 ans auparavant. De plus, le prix du matériel électronique était beaucoup plus élevé qu'aujourd'hui et on faisait durer ce matériel ! Il faut remarquer qu'avec les progrès de la fabrication et une plus grande diffusion du matériel, les prix ont baissé, divisés par deux, trois ou plus en monnaie constante.

Recherchez quel était le prix d'un PC en 1979 ? Actualisez-le en tenant compte de l'érosion monétaire.

D'ailleurs, il est caractéristique de reprendre l'arrêté du 21 janvier 1980 fixant les tolérances applicables aux levés à grande échelle entrepris pour les services publics. Dans les levés de détail, cet arrêté prenait en compte le fait que de nombreux géomètres puissent encore utiliser des tachéomètres Sanguet et la précision des levés de détail était liée à celle de ces appareils. Il fallut attendre l'arrêté du 16 septembre 2003 pour abroger cet arrêté de 1980 et fixer des précisions mieux adaptées à celles des nouveaux matériels [1, Kasser].

■ MOTS-CLÉS

Topographie, GPS, équipements, méthodes, informatique

La première révolution technique : la mesure des distances

Rendue possible par les progrès de l'électronique, cette technique a mis plus de 30 ans avant d'arriver aux formes modernes que nous connaissons. Je renvoie le lecteur à XYZ n°110 [2] pour en voir tous les détails de 1948 à 1979.

Cette mesure des distances pouvait être abordée de deux manières : soit pour les besoins de la géodésie qui nécessite des portées de grandes longueurs, soit pour les besoins des levés de détails, où les portées sont bien plus courtes permettant un matériel plus léger incorporable à un théodolite. Les portées de grande longueur ont fait surtout appel aux ondes électromagnétiques avec émetteur et répondeur, alors que pour les levés de détail on se contentait d'ondes infrarouges, renvoyées par un prisme.

Géodésie. Dans les années 1980, on utilisait encore des distancemètres conçus 10 ans ou plus auparavant (figure 1). En 1980, puis en 1983, au cours de missions en Jordanie, j'utilisais



Figure 1. Le Telluromètre MRA2 : ici le maître qui émet vers le répondeur une onde qui lui sera renvoyée. Sans LED la mesure sera donnée par la coupure d'un cercle sur le petit écran cathodique.

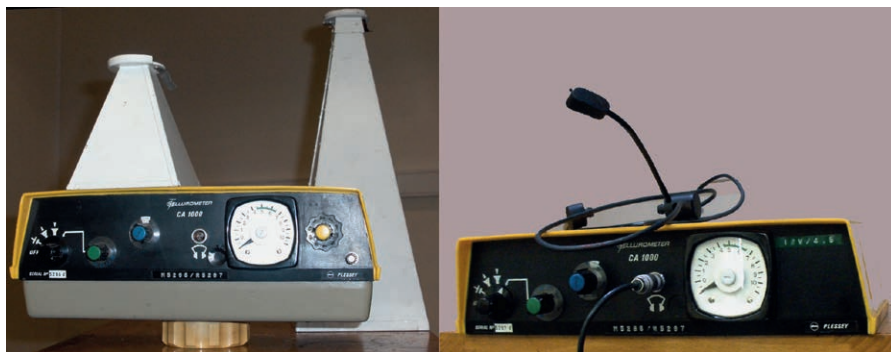


Figure 2. Le maître et le répondeur du Telluromètre CA1000 dont je me servais en Jordanie en 1981. Il nécessitait cinq sessions de mesures avec des modulations différentes de l'onde porteuse, complétées de mesures de pression et de température sèche et humide pour correction de la longueur.



un distancemètre électromagnétique SIEMENS d'une portée de 100 km. Bien que les premières LED soient apparues en 1971 sur les calculatrices, l'affichage des distances n'apparut sur les appareils topographiques que vers 1978. Sur le SIEMENS, elles étaient encore affichées sur tambour mécanique.

En 1981, lors d'une autre mission en Jordanie, j'utilisais un Telluromètre CA1000 : les observations sur ce Telluromètre apparu en mars 1972, comportaient 5 séries de mesures, avec pour chaque série une modulation différente de l'onde porteuse effectuée au "maître" et au "répondeur". On obtenait successivement, après multiplication par un coefficient propre à l'appareil, les dizaines de kilomètres, les kilomètres, les centaines de mètres, les dizaines de mètres, les mètres avec leurs deux décimales. Ces changements de modulation par les oscillateurs étaient manuels. Toujours pas de LED pour afficher les mesures (figure 2).

■ Levers de détail

En 1979, nous n'en étions qu'aux balbutiements des stations totales, dont l'usage n'allait se généraliser qu'au début des années 1980. Après les essais de Zeiss sur le SM4 qui enregistrait les distances mais pas les angles, Wild avait lancé son TC1 en 1978 dont une version n'enregistrait pas les mesures qui devaient être notées manuellement et dont une autre version enregistrait les mesures sur un volumineux coffret extérieur (figure 3). Plusieurs stations totales des années 1980 enregistraient d'ailleurs sur coffret extérieur.

Pour permettre aux possesseurs de théodolites classiques de continuer à utiliser leur matériel, Wild avait d'ailleurs mis en vente le distancemètre DI 1000, montable sur T2 (figure 4), mais aussi sur le nouveau TC 1000. Dans les appareils de l'époque, équivalents à ce DI 1000, on entendait le tic-tac des pulsions de rayons émis et du changement programmé de fréquence, pour obtenir toutes les gammes de longueur

comme vu avec le telluromètre CA1000. La mesure d'une longueur pouvait demander entre 10 et 20 secondes. C'est dans le courant des années 1980, que les stations totales allaient prendre la forme que nous leur connaissons actuellement. Je renvoie le lecteur à XYZ [3, p. 35-37], pour comprendre les procédés qui ont permis la lecture électronique des angles.

■ L'évolution des stations totales

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. A partir de 1990, les constructeurs japonais font leur apparition en France : Nikon, Sokkia, Topcon, activant la concurrence, donc la recherche d'innovations pour garder un avantage (figure 5).

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.

LEICA commercialisa en 1998 sa première station totale utilisant les ondes infrarouges et le laser : le TPS 1100. Ne nécessitant pas de prisme, le distancemètre laser associé au théodolite était une révolution pour les levés



Figure 3. La première station totale de Wild, la TC1 lancée en 1978. Un modèle enregistrait les mesures sur un volumineux coffret extérieur, sur l'autre modèle, elles devaient être notées à la main.

Figure 4. Le distancemètre DI 1000 apparu plus tard pouvait être monté sur la station TC 1000 et sur l'ancien T2, un câble permettait d'enregistrer les mesures.





Figure 5. Une station motorisée Topcon A8-L1A de 1999 qui suit automatiquement le prisme en mouvement. L'antenne permet la liaison avec l'opérateur qui peut dessiner en temps réel son lever en DAO.

architecturaux et les levers de façades, qui pouvaient maintenant se faire sans passer par la photogrammétrie. Au début, la portée de ces mesures laser était de l'ordre de 30 m. En 2005, on arrive à 200 ou 300 mètres et la plupart des tachéomètres électroniques en sont équipés. Nous verrons plus loin ce qui amena l'association d'un GPS aux stations totales.

Autres appareils topographiques

■ Le nivellement code-barres

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.

Le premier niveau code-barres, le NA2000 fut produit par Wild-Leica en 1990 (*figure 6*), Topcon suivit peu après avec les modèles DL-101 et 102. Les autres constructeurs ne tardèrent pas à suivre.

Le système code-barres 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. Rentré au bureau, on peut vider les observations sur ordinateur. Ce nouveau procédé évite ainsi les erreurs de lecture et de transfert. 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 lasergrammètres ou scanners lasers

Comme le montre l'encart de Flavien Viguier, les débuts de cette technique ont près de 50 ans. Aujourd'hui, leur application a été mise en exergue lors de l'incendie de Notre-Dame de Paris,

qui pourra être reconstruite à l'identique grâce au relevé 3D réalisé précédemment par scanner laser. Concernant le patrimoine, déjà en 1994, la fondation EDF avait financé 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 actuels [3, p.41-42]. Plusieurs sociétés, en Europe et aux États-Unis se lancèrent dans l'étude de ce nouveau procédé qui aboutit à des études sur des œuvres d'art ou des sculptures à la fin des années 1990 et au début des années 2000. Le temple de Karnak fut levé en 2004. Mais, il ne faut pas oublier les applications industrielles qui s'appliquent à des volumes beaucoup plus restreints.

Maintenant, le procédé s'est généralisé et on fait de la 3D partout, même quand cela ne s'impose pas ! J'en avais fait l'amère expérience après une mission archéologique où j'avais fait un lever classique (Plan et profils) dont j'étais très satisfait. Mon ego en prit un coup lorsqu'un géomètre qui avait acquis un scanner laser réussit à vendre le lever 3D de la même zone. Le résultat qui me fut montré me mit dans une rage profonde ! Vu la nature du lever, un 3D ne s'imposait pas, de plus son rendu était désastreux...



Figure 6. Le Leica NA2000 et sa mire code-barres, premier niveau numérique apparu sur le marché.

LE POINT SUR LA LASERGRAMMÉTRIE

Apparus dans les secteurs médical et industriel dans les années 60, les systèmes laser ont été rendus célèbres en 1971 au cours de la mission Apollo 15 quand les astronautes ont utilisé un altimètre laser pour cartographier la surface de la lune. Malgré ces avancées technologiques majeures il a fallu attendre les années 80 pour voir apparaître les premiers scanners laser terrestres 3D capables de mesurer, en 3 dimensions, plusieurs centaines de points par seconde. Les évolutions technologiques ont permis l'accélération des cadences d'acquisition de quelques milliers à dizaines de milliers de points par seconde dans les années 2000 à plus d'un million de points par seconde dès 2010. On distingue sur le marché principalement 4 types de systèmes : les scanners à temps de vols, à différence de phase à triangulation et les scanners à bras ou à main. Le choix du système à déployer étant réalisé par analyse du meilleur compromis entre la surface à mesurer et les précisions et résolutions (densité de points) attendues. À titre d'exemple on peut citer les scanners laser à temps de vol sélectionnés pour des levés de zones étendues (plusieurs centaines à milliers de mètres carrés) nécessitant des précisions centimétriques tandis que les scanners à bras seront mis en œuvre pour la mesure d'objets de petites tailles (quelques dizaines de centimètres à quelques mètres) avec des précisions millimétriques, voire inférieure.

Les années 2010 ont vu l'avènement industriel des systèmes de LiDAR mobile (scanner laser dynamique), aujourd'hui indispensables à la mesure de réseaux linéaires tels que des voies ferrées ou des lignes électriques. Dans le cas d'une acquisition par laser mobile, la détermination continue de la trajectoire instrumentale est rendue nécessaire pour l'obtention d'un nuage de points exploitable. Pour cela, le ou les systèmes laser sont combinés avec des dispositifs de géolocalisation (récepteurs GNSS couplés à des centrales inertielles et des odomètres) permettant ainsi, par intégration des mouvements du support mobile, de déterminer à tout instant la position et l'orientation des laser et donc la production des nuages de points denses.

Les évolutions récentes de l'informatique permettent aujourd'hui d'exploiter pleinement les nuages de points laser acquis et de nombreux éditeurs de logiciels (et constructeurs) focalisent leurs efforts sur l'automatisation de l'analyse des nuages de points (extraction de formes ou d'objets, analyse des échos laser...). La production automatisée de livrables reste un des défis majeurs liés à cette technologie et représente à n'en pas douter le champ de recherche principal pour la prochaine décennie.

Flavien Viguier



Figure 7. Ici à Karnak et au gouffre de la Pierre Saint-Martin, les scanners laser Riegl Z390 et Z410, avec caméra Nikon pour mieux adapter le semis de points à l'image.

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, on est passé de moins de 50 m à plusieurs centaines de mètres. Un système de miroirs pivotant permet un balayage laser vertical, puis horizontal, alliant mesures angulaires et mesures de distance. Outre la portée des distances, les cadences de mesure ont explosé. On est passé de quelques milliers de points par seconde au début des années 2000 à 1 000 000 de points/seconde actuellement ! On obtient ainsi des fichiers de points énormes que seuls les progrès incessants des mémoires informatiques ont permis de gérer.

Bien que ce type de levés puisse être utilisé dans de nombreux cas, son application la plus spectaculaire réside dans les levés architecturaux 3D (patrimoine culturel) [4].

■ Levers laser aéroportés ou LiDAR (Light Detection And Ranging)

A cheval sur la topométrie et la photogrammétrie et ayant quelques

similitudes avec la lasergrammétrie qu'elle complète, cette nouvelle technique permet d'obtenir un MNT (Modèle numérique de terrain) ou un MNE (Modèle numérique d'élévation) dans les villes par un balayage laser à partir d'un avion ou d'un hélicoptère [3, p.42]. Elle n'a pu prendre son essor qu'avec la lasergrammétrie, au début des années 2000. On peut l'utiliser aussi en bathymétrie, mais avec une précision en altitude inférieure à celle obtenue en terre ferme.

■ LE GPS (Global Positioning System)

C'est l'innovation technique majeure qui a révolutionné la topographie. Elle a tout envahi, jusqu'au domaine de *Monsieur Tout-le-monde* avec les trajets en voiture et même ces petits ordinateurs à tout faire qui sont devenus les téléphones portables, où la position peut être enregistrée avec une image photo. Je renvoie le lecteur à l'XYZ n°113 (5), où sont décrites toutes les phases d'utilisation des satellites qui ont précédé l'arrivée du GPS.

Le GPS a été conçu et mis en service par le Département de la Défense des USA. Il a été développé en vue du remplacement du système TRANSIT qui pêchait par une couverture en satel-

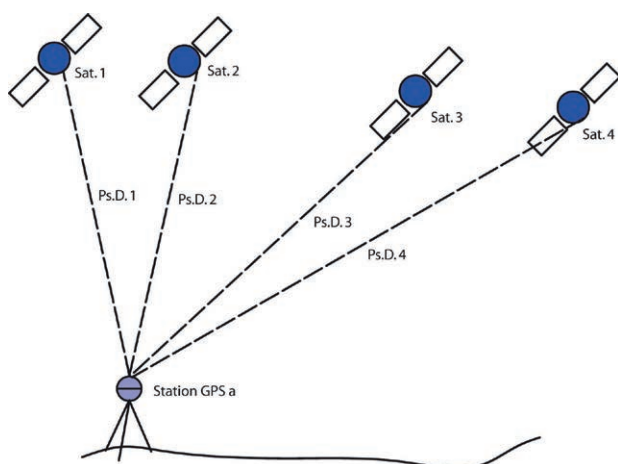


Figure 8. Trois pseudo-distances, obtenues par le temps de parcours satellite-station, sont nécessaires géométriquement pour positionner la station. Mais, elles devront être complétées par les signaux d'un quatrième satellite pour déterminer le décalage entre l'horloge satellites et l'horloge station. Les satellites supplémentaires permettront d'améliorer la précision.

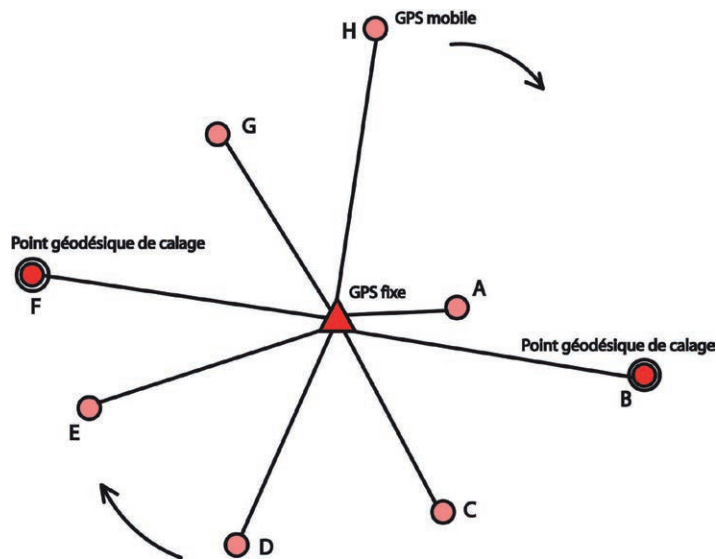


Figure 9. C'est le mode différentiel qui permet d'exploiter la précision exceptionnelle du GPS. En France, jusqu'en 1997, seul le post-traitement était utilisable avec un taux de réussite de 95 %. Les points géodésiques permettaient de caler la figure sur le réseau national.

lites insuffisante et une faible précision en navigation. Le premier satellite fut lancé en 1978, un an avant la création de l'AFT ! Il fallut attendre le lancement du 11^e satellite en 1985 pour que le système soit déclaré semi-opérationnel. Vu ce nombre insuffisant de satellites, les observations étaient limitées à certaines heures de la journée et elles devaient être plus longues.

Dès cette date, l'IGN faisait l'acquisition de son premier GPS, le TR5S, construit par le français SERCEL. Il fallut attendre 1993, pour que tous les satellites du programme soient mis sur orbites : 28 au total dont 4 en réserve. En février 1994, le système était déclaré pleinement opérationnel, la visibilité simultanée de 4 à 8 satellites, avec une élévation d'au moins 15°, étant assurée en tout point du monde, au moins 23 heures sur 24. Les 24 satellites sont répartis sur six plans orbitaux ayant tous une inclinaison d'environ 55° sur le plan de l'équateur. La durée de vie de chaque satellite étant au maximum de dix ans, cela nécessitera des remplacements réguliers.

■ Principe général du GPS

Rappelons brièvement ce principe (figure 8). Les satellites sont suivis en permanence par cinq stations fixes au sol, réparties sur le monde, non loin de l'équateur. Ces cinq stations reçoivent en permanence les signaux émis par les

satellites. Les éphémérides, paramètres d'horloge, corrections atmosphériques sont ainsi recalculés journalièrement pour être renvoyés aux satellites.

Un récepteur GPS reçoit les signaux émis par les satellites. L'horloge atomique des satellites et l'horloge du récepteur permettent de mesurer le temps de parcours des signaux. La détermination de ce temps permet de déduire les distances entre ces satellites et le récepteur. A chaque instant t , la position des satellites étant parfaitement connue, les distances mesurées (pseudo-distances) permettent de calculer la position du récepteur GPS.

■ Le positionnement absolu, le positionnement différentiel

- Le positionnement absolu est celui déterminé par un seul récepteur indépendant recevant les signaux émis par les satellites. Le récepteur encaisse alors toutes les erreurs du système, en particulier les erreurs atmosphériques et troposphériques. De plus, jusqu'à 2001, le système GPS créait des dégradations sur la fréquence de l'horloge des satellites ou sur les éléments du message radiodiffusé pour en limiter l'utilisation par les civils. De ce fait, après deux ou trois heures d'observation, un GPS de précision ne donnait la position qu'à une vingtaine de mètres

près. Quant au GPS de poche sa précision était d'une centaine de mètres. En janvier 2001, avec des temps d'observation adaptés, la suppression de ces dégradations permet d'atteindre une précision de 2 mètres sur un GPS de précision et de 5 mètres sur un GPS de poche.

- C'est en mode différentiel, c'est-à-dire avec un récepteur fixe et un récepteur mobile, que le GPS donne toute la mesure de ses possibilités extraordinaires (figure 9). En 1995, en post-traitement, à dix kilomètres on obtient une précision d'ordre centi-



Figure 10. Le GPS en temps réel acquis par mon successeur vers 2003. Quand la liaison radio fonctionne, c'est extraordinaire !



Figure 11. À gauche la solution LEICA avec le GPS sur la station totale. À droite la solution Trimble pour une implantation.



métrique sur la position relative du poste itinérant par rapport au poste fixe après 15 minutes d'observation. Il suffit ensuite de placer le récepteur itinérant sur des points connus pour caler la figure sur un réseau existant. Adieu géodésie traditionnelle, triangulation et trilatération !

■ Temps réel, temps réel cinématique, Real Time Kinematic (RTK)

Bien qu'il soit apparu en 1993-1994 aux États-Unis (Trimble) et qu'il ait suivi peu de temps après dans d'autres pays, l'utilisation du temps réel en France, freinée par la législation des télécommunications, ne s'est généralisée que début 1997. Alors que précédemment, les calculs se faisaient en post-traitement, une liaison radio entre le poste fixe placé sur un point connu et le poste mobile permet maintenant d'avoir directement sur le terrain les coordonnées

de ce poste mobile. Seul impératif : une liaison radio en VHF entre le fixe et l'itinérant, ce qui n'était pas toujours possible en région accidentée ou très encaissée (figure 10).

■ Le problème des altitudes

Début 1995, j'étais le premier géomètre de la région PACA à avoir acquis un GPS bi-fréquence LEICA et j'eus à plusieurs reprises des problèmes avec les altitudes, ce qui me fut confirmé par les confrères qui utilisèrent un GPS après moi. Dans le Var pour caler un lever routier, je m'étais rattaché en altitude sur deux repères de nivellement distants de 8 km sur lesquels le GPS donnait un écart de 40 cm en altitude. Des rattachements sur des repères de la Corniche haute et de la Corniche basse, entre Nice et Monte-Carlo me donnaient des écarts de 25 cm, alors qu'il n'y avait que 2.5 km entre les repères.

Nous touchions au problème du nivellement de précision lié à la gravité, chaque station du niveau prenant la verticale du lieu comme référence et encaissant les déviations locales. Alors que le GPS s'affranchit de cette gravité et donne une hauteur par rapport à l'ellipsoïde de référence choisi pour les calculs et défini à partir de la trajectoire des satellites. Il fallut attendre 1998 pour que Henri Duquenne (IGN), à partir des mesures de gravité faites sur le territoire Français, crée une grille conversion permettant de résorber ces différences. Les écarts que je trouvais précédemment tombèrent à quelques centimètres. On retrouve l'illustration de ce problème dans les précisions données par les fiches géodésiques de l'IGN, concernant les hauteurs ellipsoïdales et les altitudes NGF.

■ L'évolution du GPS, les stations permanentes VRS (Virtual Reference Stations)

Depuis longtemps on pouvait utiliser les observations d'une station permanente, lorsqu'on en était peu éloigné. Le nombre de ces stations permanentes s'étant multiplié, depuis 2003 a été mis au point le "mode cinématique multi-stations de référence" qui exploite les données de plusieurs stations de référence réparties en réseau. On peut conserver une précision d'ordre centimétrique en temps réel avec des stations distantes les unes des autres de 70 à 100 km. Ceci grâce à l'analyse des erreurs d'observation aux différentes stations du réseau, analyse mise à profit par l'utilisateur. Ce système présente une grande fiabilité du fait de la redondance des stations de référence et il peut générer un temps d'initialisation plus court. Mais, évidemment, il est dépendant d'une bonne couverture de télécommunication dans la zone de travail, ce qui ne pose pas de problèmes en zone urbaine, mais peut en poser en montagne.

Cela va générer le GPS incorporé à la station totale, Leica ou à la canne du prisme, Trimble (figure 11) : les leviers sont directement rattachés à la projection du pays, au cours du travail ! Cependant des réserves doivent être apportées en milieu urbain avec les points pris au pied des bâtiments à lever, ou les faux trajets.



Figure 12. Les ordinateurs portables tels que nous les connaissons aujourd'hui et permettant l'usage de la DAO ne se généralisèrent qu'à partir du début des années 1990, mais ils coûtaient encore cher.

euros en 2019, compte tenu de l'inflation) en fera un échec commercial. La même année apparaissait le premier PC dit "portable" (Osborn computer). Avec un poids de plus de 15 kg, il nécessitait des aptitudes de déménageur !

En avril 1984, Apple introduit le Macintosh avec interface graphique et souris, vendu 25 000 F en France. Compte tenu de l'inflation, cela équivaudrait à plus de 8 500 euros en 2019. Comparez à aujourd'hui... et pourtant, nous arrivons à l'explosion du nombre de micro-ordinateurs dans le monde, donc à une production en série entraînant la baisse des prix (*figure 12*).

■ Les évolutions

Bien que les écrans plats soient apparus avant sur les portables, ils vont se généraliser sur les micro-ordinateurs (comme sur la télévision) au début des années 2000.

Mais, l'évolution la plus caractéristique des ordinateurs est l'augmentation des mémoires ; ce n'est pas une évolution, c'est une révolution. En 1995, le PC portable que j'achetais avait un disque dur de 600 Mo. Il n'aurait pas pu absorber certains logiciels actuels. Aujourd'hui le moindre portable a un disque dur de 250 Go, presque 500 fois plus que mon portable de 1995.

Cette explosion de l'informatique et l'accélération des progrès qui va suivre vont amener l'émergence d'autres techniques topographiques : les SIG,

■ Le GNSS

Après une période d'abandon pour raisons budgétaires, le système Glonass russe est redevenu opérationnel en 2010. S'y sont ajoutés le système Galileo de l'Union européenne et le système Beidou (anciennement Compass) de la Chine. Il semblait intéressant de se servir de tous ces systèmes pour améliorer la précision du GPS. C'est ce qui a été fait avec le GNSS (*Global Navigation Satellite System*). Nous renvoyons le lecteur aux cinq articles écrits dans XYZ à ce sujet [6].

■ L'ITRF (Repère International de Référence Terrestre)

La précision du GPS a eu une conséquence inattendue. En 1911, le géographe Allemand Wegener, en comparant la forme du littoral africain et celle du littoral sud-américain, avait émis l'idée d'une dérive des continents : un continent unique à l'origine, flottant sur le magma du centre de la terre avait éclaté. Cette hypothèse très controversée fut confirmée en 1968 par les campagnes océanographiques de l'université Columbia, et le Français Xavier le Pichon énonce le premier modèle tectonique des plaques. Si certaines plaques comme la plaque européenne et la plaque africaine ne bougent que de 2 ou 3 mm par an l'une par rapport à l'autre, la plaque australienne bouge de plusieurs centimètres par an. Cela n'est pas sans conséquence sur nos repères GPS à l'échelle internationale ! Là encore, XYZ s'en est fait l'écho avec l'ITRF [7]

Informatique

Là encore, je renvoie le lecteur à XYZ [8] pour avoir l'état des lieux en 1979. Cette année-là, les premiers micro-ordinateurs ont été commercialisés depuis peu. C'est leur arrivée qui va amener l'explosion de l'informatique. Que l'on juge : il y avait en 1981, 2 millions de micro-ordinateurs dans le monde. Aujourd'hui, seulement en France ce nombre est multiplié par plus de dix. On passa à 5 millions de micro-ordinateurs l'année suivante, l'explosion était amorcée.

A titre indicatif concernant les prix, en 1981, Xerox commercialise le STAR 8010 avec une Ram de 1 Mo et un disque dur de 8 Mo. Mais son prix excessif, 17 000 dollars ou 150 000 F de l'époque (50 000

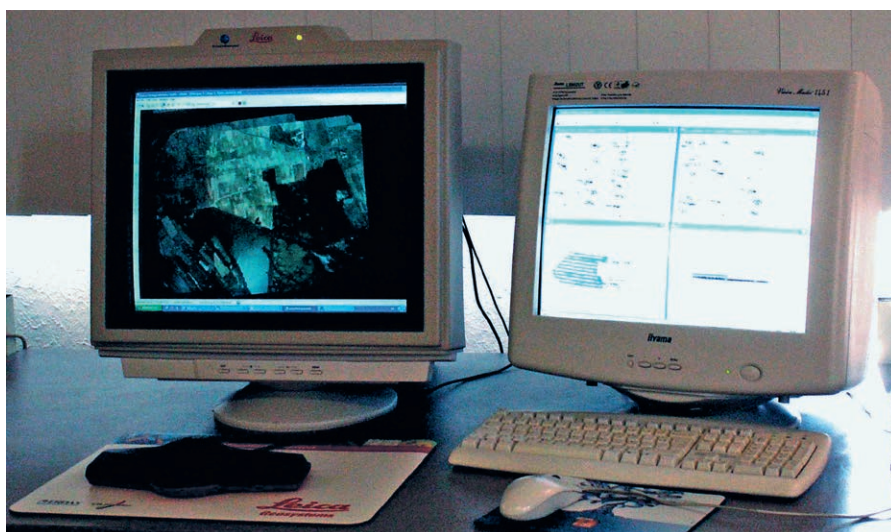


Figure 13. Qui aurait deviné que les imposants Poivilliers ou autres soient remplacés par deux écrans : un pour la vision stéréoscopique avec lunettes adéquates et un second pour le calcul et le dessin.



Figure 14. Une disquette 3 1/2 pouces, un CD et une clé USB



les progrès du DAO, la 3D, le dessin en temps réel lors des levés, le remplacement des lourds appareils de restitution par un petit ordinateur et ses deux écrans (figure 13). Parallèlement, l'explosion d'internet et tous les échanges qui en découlent complèteront cette évolution exponentielle.

■ Stockage des données

Cette multiplication de la mémoire se retrouve sur le stockage des données. En 1995, la carte mémoire d'un GPS bifréquence Leica n'était que de 1 Mo. Elle ne permettait que 8 heures d'observation avec une fréquence de mesures de 10 secondes et 1 h 15 avec une fréquence de 1 seconde. Avec le post-traitement, si une détermination à 1 km du poste fixe demandait moins de 5 minutes d'observation, il fallait 10 à 15 minutes à 10 km, 20 à 30 minutes à 20 km.

Bien avant cette date, en 1984, les Logabax acquis par l'IGN, ou en 1987, le Goupil acheté pour mon cabinet de géomètre avaient encore des lecteurs 5 1/4, d'une capacité de 160 ko. Ces 160 ko feraient rire aujourd'hui ! Le stockage et l'archivage des données et des dossiers pouvaient se faire par l'intermédiaire du ZIP dont la mémoire des disquettes passera de 10 à 100 Mo, puis 250 et 750 Mo. Ces disquettes ont maintenant disparu.

En 1982, Sony et Philips annoncent un nouveau support numérique à haute capacité : le CD-Rom. Mais il faudra attendre 1984 pour voir commercialiser le premier modèle pour PC par Philips, au prix de 1000 dollars aux E.U. et près de 10 000 F en France. En France, les

premiers micro-ordinateurs munis d'un lecteur de CD (700 Mo) incorporé apparaîtront vers 1995 et munis d'un graveur de CD, vers 2000.

C'est toujours vers 2000 qu'apparaissent les disques durs externes. Avec les normes USB, les disques durs externes tenant dans la main permettent de stocker 500 Go pour les modèles courants. Mais en 2009 on pouvait déjà en trouver d'une capacité de 2 To et en 2019, on arrive à 16 To. Que penser des minuscules clés USB (Universal Serial Bus) apparues elles aussi au début des années 2000 et qui peuvent se brancher sur le port adéquat des ordinateurs. Elles permettent de transférer facilement des fichiers d'un ordinateur à l'autre. D'un prix étonnamment bas, leur capacité a elle aussi explosé en une décennie. Les modèles courants ont aujourd'hui une capacité minimale de 2 Go, mais on en trouve jusqu'à une capacité de 128 Go (figure 14).

En guise de conclusion

En 2007, j'aurais eu tendance à penser que l'évolution technologique était exponentielle et que nous n'en étions qu'au début d'une évolution folle et imprévisible [8]. Douze ans plus tard, malgré les progrès impensables des mémoires et des stockages, j'aurais tendance à me rapprocher de M. Kasser [9]. Pour lui, cette explosion était prévisible car elle correspondait à des techniques en gestation depuis longtemps : il a fallu trente ans pour que l'on passe des premières expériences de la géodésie spatiale au GPS. Même constatation

pour l'informatique et l'électronique. Nous arrivons au sommet de la courbe et les principes de base vont rester les mêmes pendant longtemps. Seules se feront des améliorations de détail ou des applications nouvelles des techniques existantes. ●

Bibliographie

XYZ s'est fait le fidèle écho de toute l'évolution technologique de la topographie.

[1] Michel KASSER, 2003, *Les nouveaux textes réglementaires français en matière de précision des levés*, XYZ n° 96, p. 31-34.

[2] Paul COURBON, 2007, *Topographie, un demi-siècle d'évolution technologique, partie 1/4*, XYZ n° 110, p. 29 à 42

[3] Paul COURBON, 2007, *Topographie, un demi-siècle d'évolution technologique, partie 2/4*, XYZ n° 111, p. 35-37

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

[5] Paul COURBON, 2007, *Topographie, un demi-siècle d'évolution technologique, partie 4/4*, XYZ n° 113, p. 35-37

[6] Romain LEGROS & alii, 2011-2012, *Méthodes de travail dans les réseaux GNSS*, XYZ n° 129, 132, 133, 134, 135

[7] Zuheir ALTAMIMI & alii, 2012, *Repère International de Références Terrestres (ITRF)*, XYZ n° 133

[8] Paul COURBON, 2007, *Topographie, un demi-siècle d'évolution technologique, partie 3/4*, XYZ n° 112, p. 33-35

[9] Michel KASSER, 2005, *Vers l'achèvement d'un cycle de modifications majeures dans le domaine de la topométrie*, XYZ n° 104

Contact

Paul COURBON
paul.courbon@yahoo.fr

ABSTRACT

This paper summarizes the incredible evolution of both equipment and methodology in the land survey field for 40 years. The author looks over all aspects of our job from range measuring to data storage, including levelling, satellites positioning, laser scanning and processing.