

# La géodésie française est l'affaire de tous

*Michel KASSER, directeur de l'École Nationale des Sciences Géographiques (ENSG)*

## La géodésie : une évolution devenue très rapide

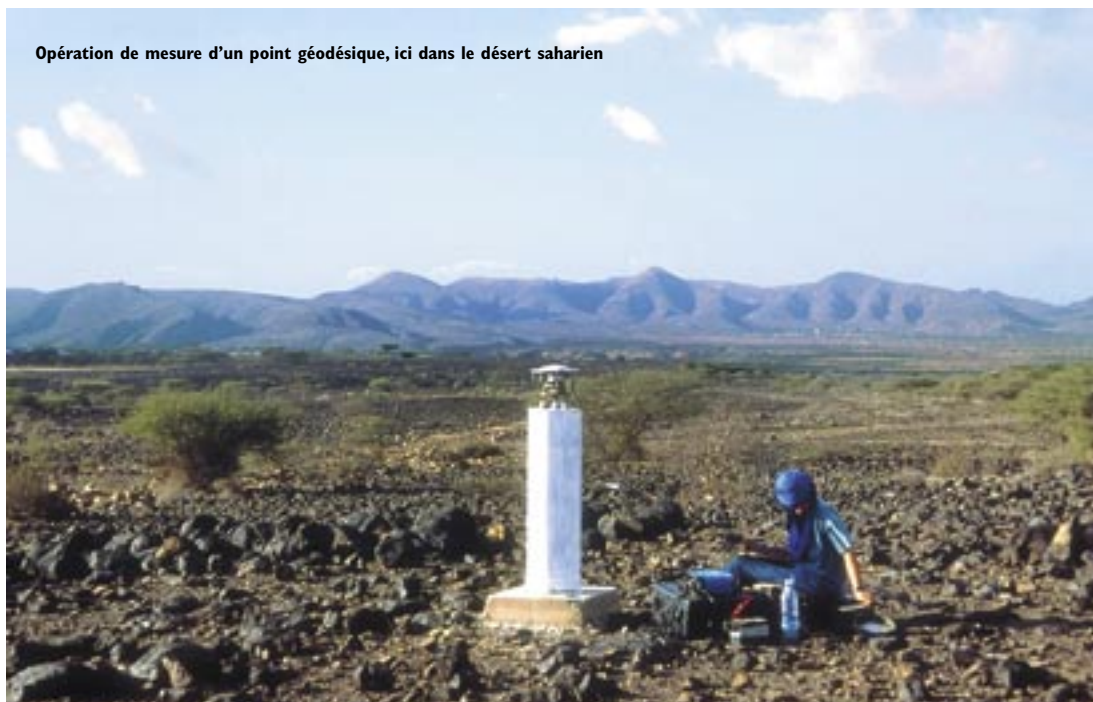
La géodésie, rappelons-le, c'est l'étude et la mesure de la forme et des dimensions de la Terre. C'est également celle de sa rotation dans l'espace, et s'y ajoutent depuis longtemps l'étude et la mesure du champ de pesanteur terrestre et du géoïde. Pour les usagers de l'information géographique française, elle s'est longtemps réduite

à la disponibilité de bornes IGN sur le terrain. Leurs coordonnées pouvaient être achetées, moyennant un coût symbolique, sur des fiches papier ou sur Minitel.

La géodésie, une science pratiquée en France à très haut niveau depuis longtemps, a connu des épisodes historiques aux XVII<sup>e</sup> (mesure du rayon de la Terre par Picard) et XVIII<sup>e</sup> siècles (mesure de l'aplatissement de la Terre par Bouguer, La Condamine, Maupertuis, mesure pour la définition du mètre par Delambre et Méchain, etc.). Avec l'entrée dans

l'ère spatiale dès les années 1960, la géodésie s'est mise à évoluer très rapidement. Ce développement a eu un impact absolument essentiel sur le raccordement des différentes références existantes dans chaque pays (particulièrement pour les liaisons intercontinentales), jusque là indépendantes. Impact d'abord limité aux grandes agences nationales, compte tenu de l'extrême complexité des nouvelles découvertes technologiques : photographie de satellites sur fond d'étoiles, télémétrie laser sur satellites, méthodes issues de la radio-astronomie comme la

Opération de mesure d'un point géodésique, ici dans le désert saharien



© IGN



Une représentation du réseau de triangulation français NGF entre points géodésiques, ici dans la région toulonnaise.

© IGN

Very Large Base Interferometer : interféromètre à très large espacement.

VLBI<sup>1</sup>, positionnement essentiellement militaire puis ensuite civil par mesure de l'effet Doppler sur les satellites Transit, premières mesures GPS avec des matériels « expérimentaux », utilisation de l'outil DORIS du CNES, etc.

Mais dès les années 1990, l'outil GPS a commencé à se répandre dans toutes les branches de la géomatique, ce qui a transformé de fond en comble la pratique de la géodésie opérationnelle. Le GPS est apparu alors comme un procédé beaucoup moins cher que les méthodes de triangulation classiques pour obtenir des points de référence, ce qui a rendu son emploi incontournable. En outre, les mesures GPS, grâce aux travaux de la communauté scientifique et industrielle, ont permis d'améliorer les précisions tant en

relatif qu'en absolu. Alors que les géodésies anciennes atteignaient d'erreurs relatives acceptables (quoique bien évidemment beaucoup plus grandes), leurs erreurs absolues restaient considérables.

## De la triangulation au GPS

Pendant des siècles et jusqu'aux années 90, les réseaux géodésiques nationaux étaient obtenus par triangulation, avec des mises à l'échelle et des orientations assez difficiles puisque les mesures de distances n'ont pu être effectuées facilement sur grandes distances que depuis les années 70 et que les orientations mettaient en œuvre des mesures

astronomiques longues et délicates. De plus, les calculs devaient se faire par blocs plus ou moins grands, selon les moyens de calculs disponibles. L'histoire de la conception globale d'un réseau impliquait, par suite, des imperfections des procédés employés et des limitations inhérentes aux anciens moyens de calcul « à la main », des modèles d'erreurs très complexes. Typiquement les coordonnées diffusées en France pour la NTF s'écartaient des valeurs exactes (que l'on aurait obtenues si tout avait été parfait) de grandeurs d'autant plus élevées que l'on s'éloignait de Paris (où était situé le point de référence, le Panthéon), et pouvant atteindre quelques mètres aux extrémités de la Métropole.

Le référentiel faisant foi n'était

donc pas le référentiel théorique, mais celui réellement disponible au travers des bornes observées et de leurs coordonnées publiées. D'où des difficultés sans fin lorsque ces bornes étaient détruites et reconstruites, rien ne permettant de garantir que la redétermination aurait les mêmes erreurs que la détermination ancienne. On a coutume de présenter les modèles d'erreurs de la NTF sous la forme « 1 cm/km », erreur purement relative, sans trop évoquer l'erreur absolue (pouvant donc atteindre plusieurs mètres) sur les coordonnées publiées. Ceci avec une excellente excuse : personne, ou peu s'en faut, ne s'intéressait à des coordonnées absolues fausses de 5 m à Marseille, mais tous étaient concernés par l'erreur relative entre deux points proches, inférieure à 5 cm entre deux points éloignés de 5 km et qui a été jugée tout à fait supportable jusque dans les années 80 (fiche CNIG n° 49).

L'incompatibilité entre les anciens modèles d'erreurs (qui avaient entraîné une quantité de savoir-faire, comme les adaptations, par exemple, devenus maintenant obsolètes) et la précision du GPS a donc été un puissant moteur incitant les agences nationales à moderniser leurs géodésies nationales. Et à s'inscrire dans une référence mondiale unique, génératrice d'économies par rapport à un travail de pays isolé. D'autant que les réticences d'origine militaire sont toutes devenues sans objet, compte tenu de la capacité d'observation spatiale. Notons que la référence mondiale ultra-précise qu'est l'ITRF (entretenu par l'IGN, par délégation de la communauté géodésique mondiale) délivre un ensemble de plusieurs centaines de points sur toute la planète avec une précision absolue de l'ordre du centimètre. Le réseau français est relié de façon très soignée à cette référence, comme les autres pays européens d'ailleurs, et dispose donc à peu près de la même précision.

Pour les agences nationales comme l'IGN en France, il était

alors devenu urgent de s'adapter, les points géodésiques traditionnels n'étaient souvent plus assez précis par rapport aux mesures GPS, de plus en plus pratiquées par les usagers ; placés prioritairement sur des sommets, ils étaient peu accessibles (et souvent inadaptés à l'emploi du GPS) ; leur absence d'entretien rendait leur re-découverte et leur emploi aléatoire. Et ce alors que démarrait le formidable mouvement de vulgarisation des SIG, extraordinaire « pompe » à données géographiques numériques, qui précisément ne pouvait donner sa pleine puissance que si les données étaient dans une même référence géodésique.

omniprésente en géomatique. Ne pas la maîtriser peut moins facilement être admis car cela conduit couramment à de sérieuses erreurs. Les débats récents sur les projections nationales l'ont cruellement rappelé : les géomaticiens ne peuvent plus se permettre, comme naguère, de ne pas maîtriser les concepts de base, par exemple de confondre le système géodésique et la projection, sinon ils conduisent leurs clients dans des impasses coûteuses.



Les points géodésiques de l'ancien réseau, placés sur des sommets, pour des questions de visibilité lors des triangulations, n'étaient pas très accessibles pour les utilisateurs de données géographiques.

Dix ans après, pratiquement tout a changé, et c'est ce que nous allons rappeler ici. Mais ceci nous a fait sortir d'une époque où la géodésie française ne concernait que l'IGN et quelques rares scientifiques, et où les géomètres pouvaient se permettre d'oublier immédiatement en sortie d'école ce qu'ils en avaient (et parfois bien péniblement) appris. Et nous sommes entrés dans notre époque présente où la géodésie moderne, qui bien évidemment n'a pas fait table rase de la géodésie géométrique mais est plus facile à appréhender, est

## Un contexte français qui a très rapidement changé

Nous sommes au début des années 1990. Les industriels commencent à mettre sur le marché des matériels GPS topographiques avec des logiciels maniables à des tarifs permettant le démarrage du marché. Quelques pays amorcent la révolution dans leur géodésie par l'installation de

stations GPS permanentes (Suisse, Suède, Allemagne...). En France, l'IGN fournit un nouvel ensemble de 1024 nouvelles bornes, bien placées, observées par GPS et déterminées avec une excellente précision, le RBF (Réseau de Base Français, disponible fin 1995). Et divers organismes de recherche installent, pour leurs propres besoins, des stations GPS permanentes, mais rien de vraiment adapté à l'usage des topographes avant 1998 (station de l'ESGT au Mans).



© IGN

Le réseau européen de référence Euref (en rouge), et ses composantes françaises supplémentaires (en noir).

Puis les grandes manœuvres commencent sous l'impulsion du CNIG, favorisées ensuite par le rapport de la mission Lengagne. Issue des travaux menés pour le RBF, la nouvelle référence géodésique calculée par l'IGN et parfaitement intégrée dans l'ITRF est rendue officielle à la fin 2000. Un schéma directeur innovant est pris par l'IGN pour répondre aux attentes en matière de géodésie et de nivellement. L'IGN met à disposition de tous son outil de calcul permettant de passer de l'ancienne référence à la nouvelle (CIRCE 2000), incluant une grille de transformation particulièrement bien adaptée au cas de la France.

En parallèle, le RGP (réseau GPS permanent) s'ouvre largement aux partenariats, l'IGN ici étant l'architecte, le promoteur, le conseiller technique et le diffuseur. En même temps, les SIG se répandent rapidement. L'IGN s'associe

Ellipsoïde : GRS 80	
1/2 grand axe	a = 6 378 137 m
aplatissement	f = 1 / 298.257222101
Projection conique conforme sécante parallèles d'échelle conservée (parallèles "standards")	
$\varphi_1$	44 ° N
$\varphi_2$	49 ° N
Origine	
méridien central	$\lambda_0 = 3 ° E$ Greenwich
latitude origine	$\varphi_0 = 46 ° 30' N$
Coordonnées de l'origine	
E0(ou X0)	700 000 m
N0(ou Y0)	6 600 000 m

La définition de la nouvelle projection Lambert 93 et de son ellipsoïde de référence, le GRS 80 (en lieu et place de l'ancien ellipsoïde de Clarke).

au Cadastre, et les futurs acteurs principaux en matière d'information géographique commencent à s'installer dans leur rôle central : les collectivités locales, d'abord les grandes (communautés urbaines, départements), puis des EPCI moins importants.

## Le problème des bases de données communales

Et maintenant ? Même des communes de taille moyenne, voire petite, épaulées ou non par leur Conseil Général, mettent en place des SIG et se posent alors des problèmes de références géodésiques. Que vient faire la géodésie là-dedans ? Il faut revenir à cette différence de modèles d'erreurs évoqués précédemment entre l'ancienne géodésie (la NTF) et la nouvelle (RGF 93), particulièrement bien illustrée par la grille : une des conséquences de la qualité de l'ancienne NTF est que l'écart-type sur la conversion de données ne peut être meilleur que de 5 à 10 cm. Cette valeur est largement suffisante pour des bases de données départementales ou régionales, d'imprécision spécifiée largement au-delà du décimètre. En revanche, c'est complètement incompatible avec les nombreuses

bases de données géographiques de précision centimétrique utilisées par les communes. Donc, dans ce type d'applications :

1. le changement de référence géodésique se voit ;
2. il se double simultanément d'un problème d'acceptation de la nouvelle projection nationale officielle (Lambert 93), engendrant de multiples confusions avec le RGF 93 à cause du même nombre 93 (année de référence du calcul) ;
3. si la nouvelle géodésie RGF 93 entraîne indiscutablement un bénéfice économique ultérieur significatif, c'est dans un domaine qui n'est pas familier aux élus et donc dans un contexte qui n'est pas propice aux décisions innovantes.

Percevant cette difficulté, le CNIG met en place un groupe de travail pour bien identifier ce qui freinait l'adoption de la nouvelle référence géodésique en pratique. Ce groupe piloté d'abord par J. Breton (OGE) puis par D. Delerba (AITF, Ville de Nice) va proposer ses conclusions sous peu, en particulier dévoiler un projet de 9 projections complémentaires (rendant le service des anciennes Lambert 4 zones) avec une altération linéaire invisible sur tous les documents papier, ainsi que quelques retouches du texte réglementaire disposant des références nationales.

En parallèle avec ces démarches,

Le CNIG instruit en 2001 et 2002 une réforme complète des textes réglementaires spécifiant la précision des levés topographiques effectués sur fonds publics, l'arrêté de janvier 1981 étant devenu inadapté et largement incompatible avec les technologies actuelles. Le nouvel arrêté, pris le 16 septembre 2003, facilite un bouleversement complet des relations contractuelles entre donneurs d'ordres et entreprises exécutantes. Il fournit les éléments nécessaires pour spécifier la précision des levés commandés, précise certaines modalités de recette, mais invite les partenaires à spécifier des résultats, et surtout pas des moyens à mettre en œuvre. Le but est ainsi de laisser toute latitude au fournisseur d'employer la méthodologie qui lui semble optimale, ce qui encourage des innovations constructives. Dans cette logique, le fournisseur est jugé sur la comparaison entre les coordonnées fournies et celles qui sont issues de levés de contrôle, effectués de façon complémentaire par le donneur d'ordre ou à sa demande, par un autre opérateur en tous cas que le fournisseur. Ce texte, résultat de longs travaux d'un groupe de travail du CNIG, précise également de nombreux points critiques pour la spécification de bases de données localisées.

Au total, on notera ici combien le paysage a changé rapidement au cours des dernières années, à tel point qu'il est difficile de faire un tableau complet en quelques lignes : changement bien plus important dans la dernière décennie en tous cas qu'au cours du siècle précédent !

## Un nouvel engagement de l'IGN

L'IGN, lui aussi, a été amené à changer complètement ses activités en matière de géodésie. Bien évidemment, tout ceci a commencé avec l'établissement et l'observation du nouveau réseau géodésique matérialisé RBF. À

l'occasion des mesures, un nombre équivalent d'anciennes bornes de la NTF ont été observées en GPS, ce qui a permis de cartographier ses erreurs. En outre, cela a permis de calculer la grille de conversion qui, avec son interpolateur, permet de transformer avec la meilleure précision possible des données géographiques éditées dans cette ancienne référence. Puis il a proposé les éléments de la



© Nasa

Le réseau géodésique mondial ITRF. Carte disponible sur le site de la Nasa.

nouvelle référence RGF 93. La politique de l'IGN a été orientée dans un premier temps à la fin 1997 par un rapport du CNIG, qui précisait : « ...il est de la responsabilité de l'IGN de prendre toutes dispositions nécessaires pour que le développement d'un réseau de stations permanentes et que leur utilisation se fasse dans des conditions telles que [...] les données géographiques obtenues soient ultérieurement exploitables par d'autres services que celui qui prescrit le travail ».

Elle a ensuite été concrétisée par un « schéma directeur pour la géodésie et le nivellement à l'IGN » approuvé le 14 Janvier 2000, dont voici quelques extraits :

- Mettre en place une activité de visite systématique des réseaux NGF et NTF. [...].

Ceci a conduit à mettre à jour la base de données sur la géodésie et le nivellement, afin qu'un repère disponible dans la base de données ait été effectivement vu en place quelques années auparavant seulement. Par la même occasion, une

image numérique du repère est acquise et accessible ensuite. Cette visite systématique a commencé en 2000, et le premier cycle complet se terminera en 2005.

- Mettre en place une activité réseaux mondiaux de grande envergure. Ceci inclut :
  - la poursuite de la maintenance du réseau DORIS ;
  - la mise en place d'une expertise

en matière de rattachement dans les sites co-localisés par les diverses techniques géodésiques (Laser satellite, Laser Lune, VLBI, Doris, GPS...) en agissant en particulier suivant les indices collectés au Lareg pour les solutions ITRF ;

- une activité de rattachement et de suivi métrologique sur tous les sites ayant une importance géophysique (marégraphes, certains sites GPS...);
- la mise sur pied et le suivi quotidien, d'un serveur ...incluant toujours l'IGS, mais aussi l'IDS (équivalent de l'IGS pour DORIS) à venir, les produits ITRF (incluant les rattachements), les archivages des données des stations GPS permanentes sur la France, celui des données (essentiellement GPS) ayant une importance en matière de géophysique, etc. Ce travail inclura la réponse aux questions posées par les usagers et la rédaction de pages d'information bilingues pour minimiser les demandes de renseignements.

- La poursuite des activités géodésiques internationales telles que l'IGS, EUREF, le REUN (UJLN), qui donnent à l'IGN une grande visibilité et favorisent la reconnaissance de son expertise sur des activités facturées à l'exportation.

Ces activités représentent la participation de la France à l'ossature géodésique mondiale, avec une mention particulière pour DORIS, instrument imaginé et développé par le CNES, et dont l'IGN est le partenaire institutionnel pour le déploiement du réseau de 54 balises réparties sur toute la planète.

- La mise en place d'une activité «réseau GPS permanent». Ceci nécessite : [...]

- L'appui aux organismes partenaires (spécifications, aide à l'installation, suivi métrologique des antennes...);
- La maintenance, si besoin est, de leurs données collectées au-delà de leur temps d'archivage propre;
- L'entretien des sites IGN propres.

- Mettre au point des spécifications pour l'emploi de GPS pour l'entretien du NGF. Ceci nécessitera de poursuivre des expériences en grandeur réelle afin d'évaluer les cas d'emploi du GPS, ainsi que les modalités de contrôle qualité.

Cette série d'expériences a débouché sur la mise en production du NIVAG, Nivellement avec assistance GPS, qui a permis de reprendre en main l'entretien

complet du réseau de nivellement de précision français, le NGF. Ceci a nécessité une reprise des spécifications, une série d'études auprès des usagers. Le coût de production est considérablement moindre que par les méthodes de nivellement traditionnel, ce qui permet actuellement une maintenance du NGF entier en six ans. Cette méthodologie n'a été possible que grâce à la densité atteinte par le RGP, et grâce à la qualité de la grille de conversion altimétrique actuellement disponible calculée par H. Duquenne (RAF 98).

- Améliorer la grille de correction altimétrique. Ceci implique :

- une extension à la Corse et aux DOM;

- une amélioration de la composante verticale du RBF;

- des mesures gravimétriques nombreuses et de grande exactitude, sur des programmes à préciser avec les autres acteurs nationaux concernés : BRGM, IPGP, INSU, ESGT...

- un renforcement considérable du réseau de nivellement de référence de très haute précision;

- la reprise de toutes les opérations de rattachement NGF - RBF apparaissant comme douteuses lors des calculs;

- l'amélioration des modèles de géoïde calculés à l'IGN puis à l'ESGT, et une diffusion aussi large que possible de la grille de conversion qui en est déduite.

linéaire, déclinaison magnétique...), et bien entendu l'optimisation d'un outil d'interrogation de cette base.

Ce serveur entièrement gratuit a été mis en service sous une forme provisoire en 2002, il est actuellement pleinement opérationnel, avec une interrogation en ligne fondée sur un outil SIG adapté fourni par Géoconcept. Il a matérialisé la volonté de l'IGN de lever un maximum d'obstacles pour que les usagers s'approprient au mieux les éléments de la géodésie moderne.

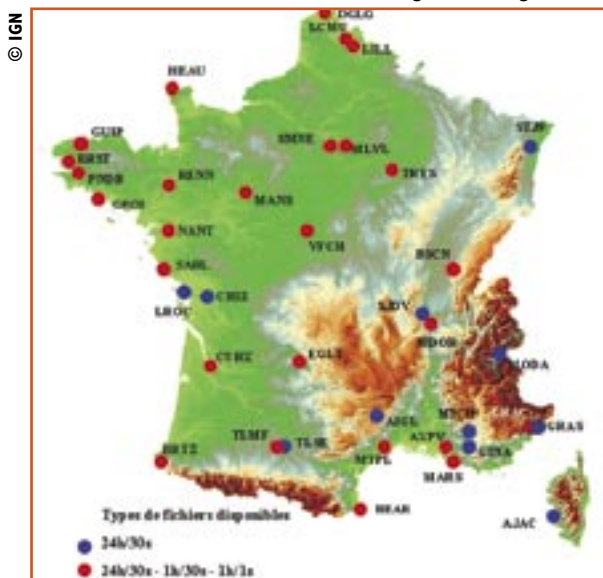
## Conclusions

Comme le lecteur aura pu le remarquer, les évolutions ont été nombreuses et rapides pour la géodésie, en France comme dans le reste du monde. Le point important à noter est que, désormais, une bonne maîtrise des concepts de base de la géodésie est devenue nécessaire, un prérequis largement dû au choc technologique apporté par le GPS. La France dispose d'une référence géodésique extrêmement performante et précise, avec une diffusion efficace et rapide, une base de données accessible et bien à jour, ainsi que d'une bonne participation aux efforts internationaux. Il reste sans doute encore à peaufiner le dispositif de formation des futurs usagers afin que, contrairement à leurs anciens, le mot « géodésie » ne les remplit pas d'inquiétude, mais plutôt qu'ils s'y trouvent à l'aise afin de tirer le meilleur parti des technologies disponibles. Car dans quelques années, aux côtés du GPS il y aura aussi le Galileo (ign) européen et, qui sait peut-être encore d'autres systèmes de ce type comme le Glonass russe. Et il faudra bien alors que les actuels étudiants en aient bien compris l'importance économique pour toutes les professions de la géomatique... ■

Michel Kasser, ENSG/IGN  
Marne-la-Vallée

Téléphone : 01 64 15 31 00  
Courriel : michel.kasser@ign.fr

Le réseau RTK français permanent, particulièrement dense au sud d'une ligne Cherbourg - Genève.



À noter ici que le procédé Nivag évoqué précédemment participe aussi à la collecte de nouvelles données, permettant dans une itération ultérieure d'améliorer encore cette grille. De nombreuses mesures gravimétriques de haute précision ont été menées dans les dernières années, ce qui servira aussi à cette future amélioration.

- Mettre en place le serveur Web pour la BD Géodésique et applications associées, ceci incluant la rédaction de pages explicatives de nos activités, la mise en place d'utilitaires en ligne (transformations de coordonnées, altération