

# Rénovation du RGF93

■ Alain HARMEL

*Mise en place à partir de 1993 par l'établissement du réseau de référence français (RRF), suivi d'une densification achevée en 1996, le réseau de base (RBF), la référence nationale RGF93 était officialisée à la fin de l'année 2000. Dès 1998, une nouvelle infrastructure se mettait également en place : le réseau GPS permanent (RGP). Les années 2000 voyaient ce réseau se renforcer très largement, et son emploi devenir prépondérant eu égard à l'usage des réseaux traditionnels. En particulier, l'émergence de réseaux partenaires temps réel intensifie maintenant la généralisation de l'accès à la référence nationale au travers du RGP.*

**D**urant ces années, le contexte mondial ne cesse d'évoluer, tant en terme de réseaux que d'instrumentation et de méthodes. Avec l'opérationnalité des réalisations ITRF (*International Terrestrial Reference Frame*), des réseaux IGS (*International GNSS Service*) et EPN (*European Permanent Network*) ainsi qu'avec les progrès considérables en matière de traitement, l'exactitude des déterminations géodésiques est en perpétuelle amélioration.

Sur le plan institutionnel, la directive européenne INSPIRE, dans son souci d'assurer l'interopérabilité des données géographiques, rend obligatoire l'utilisation d'un système commun de référence de coordonnées. C'est ainsi que, face à ces évolutions, l'IGN a entrepris de mettre à jour la référence nationale afin d'en permettre un accès encore plus précis. Parallèlement, l'affinement de l'aspect vertical, géométrique (GPS) et géopotential (nivellement), a autorisé la publication d'un nouveau modèle de référence d'altitude conduisant à de meilleures possibilités d'accès aux altitudes par GPS.

## Le RGF93

Dans sa définition, le RGF93 est la restriction pour la France métropolitaine du système de référence européen ETRS89 (*European Terrestrial Reference System 1989*), lui-même issu du système mondial ITRS (*International Terrestrial Reference System*) par

ancrage de la plaque tectonique eurasiatique à l'époque 1989.0. Un tel ancrage a pour but d'assurer une stabilité acceptable des coordonnées dans le temps, en évitant leur variation permanente de 2 à 3 cm par an. On notera que l'ETRS89 est le système retenu dans le cadre de la directive INSPIRE.

La première détermination date de 1993 avec 23 sites géodésiques observés par GPS dont 3 seulement (Brest, Grasse et Toulouse) étaient rattachés au système mondial (ITRS). Une densification a été effectuée de 1994 à 1996, donnant lieu au réseau de base français (RBF) avec 1032 sites (1009+23 RRF). L'exactitude des coordonnées ainsi obtenues est de 2 cm (soit 5 cm à un seuil de probabilité de 95%). Le réseau de détail (environ 80000 points) correspond aux sites de la "Nouvelle Triangulation de la France" (NTF) requalifiés par une procédure de transformation de système mise au point à l'IGN assurant une exactitude de l'ordre de 15 cm à 95%.

Après l'installation par le CNES de la station GPS permanente de Grasse fin 1996, le réseau GPS permanent proprement dit s'établit à partir de 1998. Il comporte 15 stations en décembre 2000, puis 60 en mars 2006, 170 en avril 2009 jusqu'à près de 230 actuellement (juillet 2010). En incluant les observations de la constellation GLONASS en plus de GPS, le "réseau GPS permanent" est rebaptisé en 2008 "réseau GNSS permanent". Afin d'assurer la cohérence du RGF93, chacune de ces stations est en principe rattachée aux points voisins du RBF.

Depuis 1998, le RGP est calculé quotidiennement en relation avec les stations de l'IGS (*International GNSS Service*) et de l'EPN (*European Permanent Network*). La connexion ITRS/ETRS89 est ainsi assurée pour l'ensemble des stations de manière extrêmement précise. Il apparaît ainsi très rapidement une différence de niveau centimétrique entre les coordonnées ETRS89 issues de ces traitements et celles issues des rattachements au RBF. L'idée d'une requalification du RGF93 prend naissance à partir de cette constatation.

Il convient en premier lieu de faire l'examen critique des réseaux matérialisés RRF et RBF.

- Les 23 sites du RRF ont été observés par GPS en 1993, à une époque où la constellation GPS était encore incomplète, obligeant à des sessions utiles de quelques heures seulement par jour – typiquement 8 heures, pour des lignes de base de l'ordre de 200 à 300 km. Le logiciel utilisé pour le traitement (logiciel de Berne V3), représentant alors l'état de l'art en la matière, prenait mal en compte certains biais (troposphériques par exemple), ou ne prenait pas en compte du tout des éléments tels que la surcharge océanique, affectant de quelques centimètres les positions déterminées, essentiellement cependant sur la composante verticale.

On rappelle par ailleurs que la mise en référence ITRS (et ETRS89), n'est effectuée qu'à partir de trois points observés par radiotélescope VLBI mobile en 1989 (Grasse et Brest) et 1992 (Toulouse). On doit donc pouvoir s'attendre à un certain flottement au Nord-est de ce triangle très obtus.

- Les 1032 sites du RRF + RBF, ont été observés en 1994/95 et 1996 pour la Corse, par "grappes" de 7 avec double occupation de 2 heures, représentant des lignes de base d'environ 25 km. Le calcul a été effectué

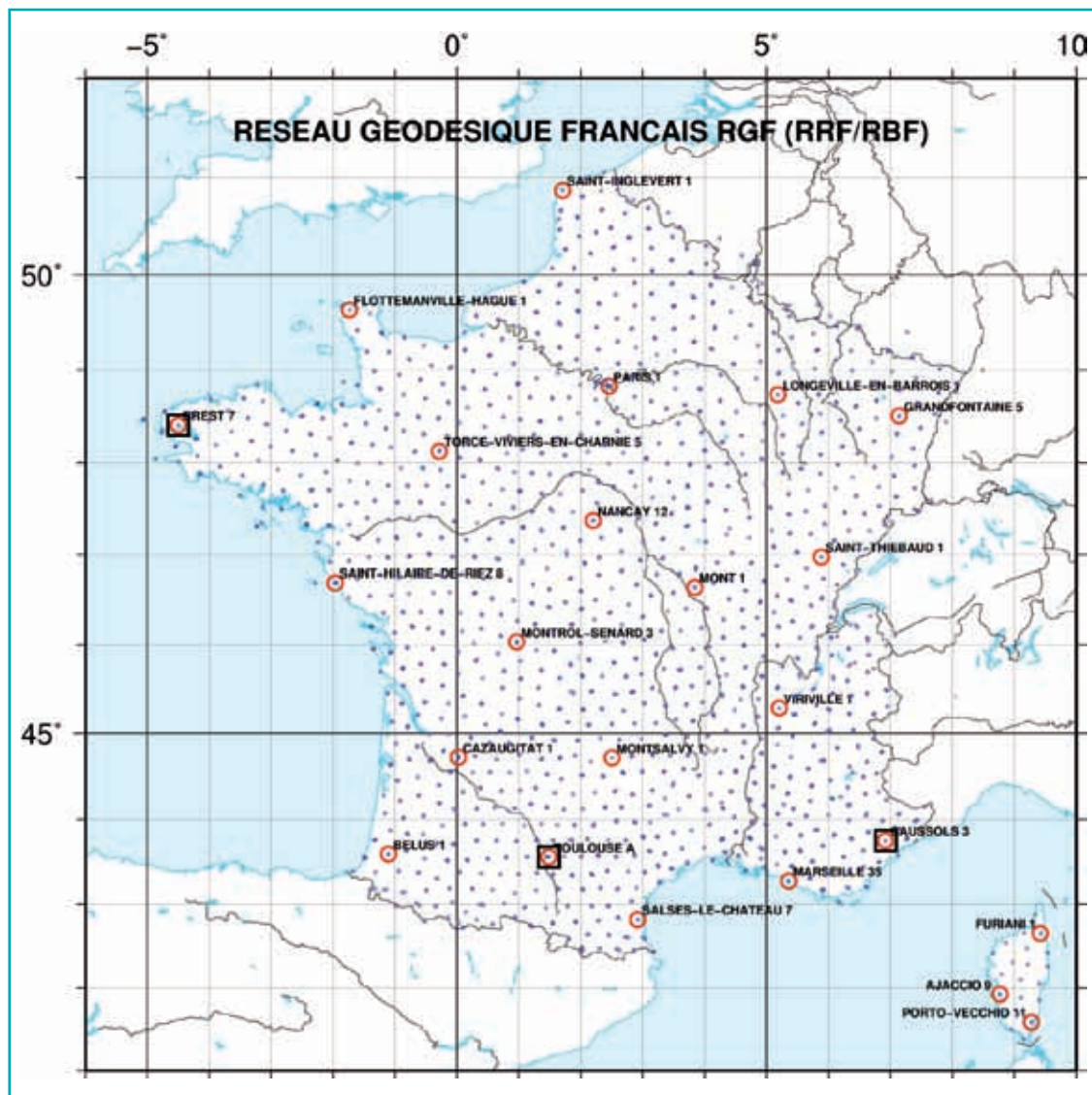


Figure 1. Réseau de référence et réseau de base français. Les carrés représentent les points VLBI ayant servi à la mise en référence ITRS.

avec un logiciel commercial pour la partie GPS et un logiciel IGN pour la compensation par moindres carrés. Ni estimation troposphérique, ni prise en compte des surcharges océaniques n'entrent évidemment en jeu dans ces traitements.

## Vers une mise à jour

En 2004, nous avons entrepris à l'IGN de recalculer toutes les observations du RBF (1994/1995) avec un logiciel scientifique (logiciel de Berne V4.2). Ceci a permis de s'assurer de la nette amélioration apportée par ce type de traitement, en particulier sur la composante verticale. On aurait pu tirer profit de ce calcul pour effectuer une première mise à jour du RGF93. Ceci a été jugé prématuré.

En effet, depuis 2001, une vaste campagne d'entretien du réseau de nivellement avec assistance GPS avait été entreprise.

A l'occasion de ces opérations, certains points du RBF font l'objet de nouvelles observations GPS et de rattachements contrôlés au réseau de nivellement de précision. Ces travaux s'achèvent en 2008 avec en complément les observations des points RBF n'ayant pas participé aux opérations d'entretien du réseau de nivellement. On dispose alors d'un ensemble complet d'observations des quelques 1000 sites du réseau de base qu'il convient d'exploiter.

Depuis 1998, le RGP est calculé quotidiennement en relation avec les stations de l'IGS (*International GNSS Service*) et de l'EPN (*European*

*Permanent Network*). En sus du contrôle des coordonnées des stations, la connexion ITRS/ETRS89 est ainsi assurée pour l'ensemble du RGP de manière précise.

Cependant, en 2006, avec la publication de la réalisation ITRF2005 de l'ITRS, la reconnaissance de la problématique des calibrations des antennes GPS, les nouveaux modes de traitement (logiciel de Berne V5 à l'IGN) et la modernisation des algorithmes et des modèles physiques incitent à une réflexion sur l'opportunité d'une mise en adéquation du RGP depuis ses débuts.

La décision est alors prise de traiter à nouveau toutes les observations du RGP à partir de 1998 en prenant en compte ces nouvelles options. Ainsi, une nouvelle réalisation ETRS89 doit être établie en tant que base opéra-



tionnelle des traitements horaires et journaliers du RGP. En corollaire, cette solution peut être également à la base de la maintenance du RGF93 au travers des observations 2001-2008 du RBF, mais selon très probablement des spécifications complémentaires liées à la minimisation dans le temps des variations des coordonnées (l'utilisateur topographe les préfère fixes).

Ces reprises de calcul ont pris plusieurs mois (2006-2008) avec les caractéristiques suivantes :

- recherche des discontinuités : tout changement de matériel sur une station introduit une légère différence de coordonnées du fait d'une connaissance encore peu précise des centres de phase des antennes.
- Calcul journalier des stations RGP avec une sélection de stations européennes EPN (puis une sélection mondiale IGS à partir de 2008).
- Nouvelle identification de discontinuités au travers des séries temporelles de coordonnées dans une référence commune provisoire.
- Combinaison hebdomadaire de ces solutions journalières
- Cumul des solutions hebdomadaires sur un datum défini (l'IGS05 : sous-ensemble GPS de l'ITRF2005 avec prise en compte des calibrations absolues d'antennes) avec le logiciel IGN CATREF.
- Les résultats sont les positions et vitesses des différentes stations dans l'ITRF2005 à la date du 1<sup>er</sup> janvier 2009.
- Passage en ETRS89 par formule conventionnelle ITRF2005-ETRF2000 (*Specifications for reference frame fixing in the analysis of a EUREF GPS campaign*: <http://etrs89.ensg.ign.fr/memo-V7.pdf>)
- Pour les stations ayant moins de deux ans d'observation, les positions ont été calculées à l'époque de variance minimale puis ramenées au 1<sup>er</sup> janvier 2009 selon le modèle de rotation de la plaque européenne issu des spécifications ci-dessus (c'est-à-dire vitesse nulle dans ETRS89).

Au 1<sup>er</sup> juillet 2009, plus de 100 stations – ayant de 2 à 10 ans d'observations continues – sont ainsi déterminées en positions et vitesses dans l'ITRS (et en conséquence ETRS89) avec une exacti-

tude de quelques millimètres en position et de quelques dixièmes de millimètres par an pour les vitesses. A la demande de la commission Géopositionnement du CNIG, les coordonnées et vitesses ITRS (ITRF2005) au 1<sup>er</sup> janvier 2009 sont accessibles sur [ftp://rgpdata.ign.fr/pub/products/ITRF\\_coord/](ftp://rgpdata.ign.fr/pub/products/ITRF_coord/).

Pour la mise en application de ces résultats au RGF93, certaines adaptations ont dû être amenées. Les vitesses obtenues sont certes très faibles (inférieures à 1 mm/an) mais pas totalement négligeables, par exemple sur une décennie. Par ailleurs, il a pu être noté sur certaines stations des mouvements saisonniers (jusqu'à 1 cm horizontalement de crête à crête), le plus souvent dus à des effets thermiques des bâtiments supportant les antennes. Il a été retenu l'option de considérer les vitesses comme nulles et de publier les coordonnées cartésiennes (X, Y, Z) du RGP arrondies au millimètre.

C'est sur cette dernière solution que vont s'aligner les nouvelles déterminations du réseau de base des 1000 points. Pour chaque point, le calcul a été effectué avec le logiciel de Berne v5 en prenant en compte les observations communes des stations du RGP dans l'ITRS de la date, la solution étant ensuite alignée sur le RGF93 au travers des coordonnées RGP obtenues à l'étape précédente. Naturellement, ces calculs ont repris les options déjà citées : gestion des calibrations absolues d'antennes, estimations troposphériques, surcharges océaniques etc. L'apport majeur en est la précision considérablement accrue de la composante verticale. Les biais verticaux issus de la propagation au travers de la troposphère atteignent plusieurs centimètres pour de fortes dénivelées ou pour des gradients météorologiques significatifs. La surcharge océanique est sensible sur la côte atlantique et son arrière-pays, pouvant atteindre de -7 à +7 cm sur l'extrême Ouest de la Bretagne, en fonction bien sûr des marées, hautes ou basses.

Ce renouveau dans l'exactitude verticale (géométrique) est à relier aux avancées relatives à la référence d'altitude. La grille de conversion altimétrique RAF98, obtenue à partir du quasi-géoïde QGF98 adapté aux points

nivelés du RBF (1994-1995) doit pouvoir être grandement améliorée. D'une part, au QGF98 de Henri Duquenne ont pu être adjoints deux modèles régionaux de quasi-géoïde du même auteur : l'un couvrant la zone Corse-Provence, l'autre un large Massif Central. D'autre part, nous avons à disposition des points GPS rattachés au réseau de nivellement (IGN69 pour la France continentale et IGN78 pour la Corse) de manière maintenant fiable (les nivellements RBF 1994/1995/1996 n'étaient effectués qu'à partir d'un seul repère alors que toutes les stabilités ont été assurées lors des opérations 2001-2008).

C'est ainsi qu'a pu être menée à bien la création de deux nouvelles grilles de conversion d'altitude : RAF09 pour la France continentale et RAC09 pour la Corse ("09" correspond à la date des dernières observations ayant participé à l'élaboration de ces grilles). On doit noter qu'il aurait fallu de toute manière réviser la grille RAF98 pour la rendre compatible avec les hauteurs ellipsoïdales du RGF93 rénové.

Modification des coordonnées, quelques chiffres :

La comparaison RGF93 rénové par rapport au RGF93 originel permet de relever les éléments suivants :

- Les écarts sont inférieurs à 5 cm en planimétrie et à 10 cm sur la composante verticale (à l'exception de mouvements locaux pour certains repères, ou bien sûr d'anomalies du premier calcul)
- la moyenne sur tout le territoire est de 9 mm vers l'Est, 5 mm vers le Sud, de -25 mm pour la composante verticale (hauteur au-dessus de l'ellipsoïde)
- les écarts-types respectifs sont de 14 mm, 16 mm et 27 mm.

Les écarts entre les deux grilles RAF98 et RAF09 (Figure 3) sont principalement dus aux écarts de hauteurs ellipsoïdales entre le nouveau et l'ancien jeu de coordonnées et peuvent dépasser 10 cm. Par contre en terme de conversion en altitude on obtient des différences d'un petit nombre de centimètres entre celles obtenues avec RAF98 et les anciennes hauteurs et celles obtenues avec RAF09 et les nouvelles hauteurs. A contrario si par



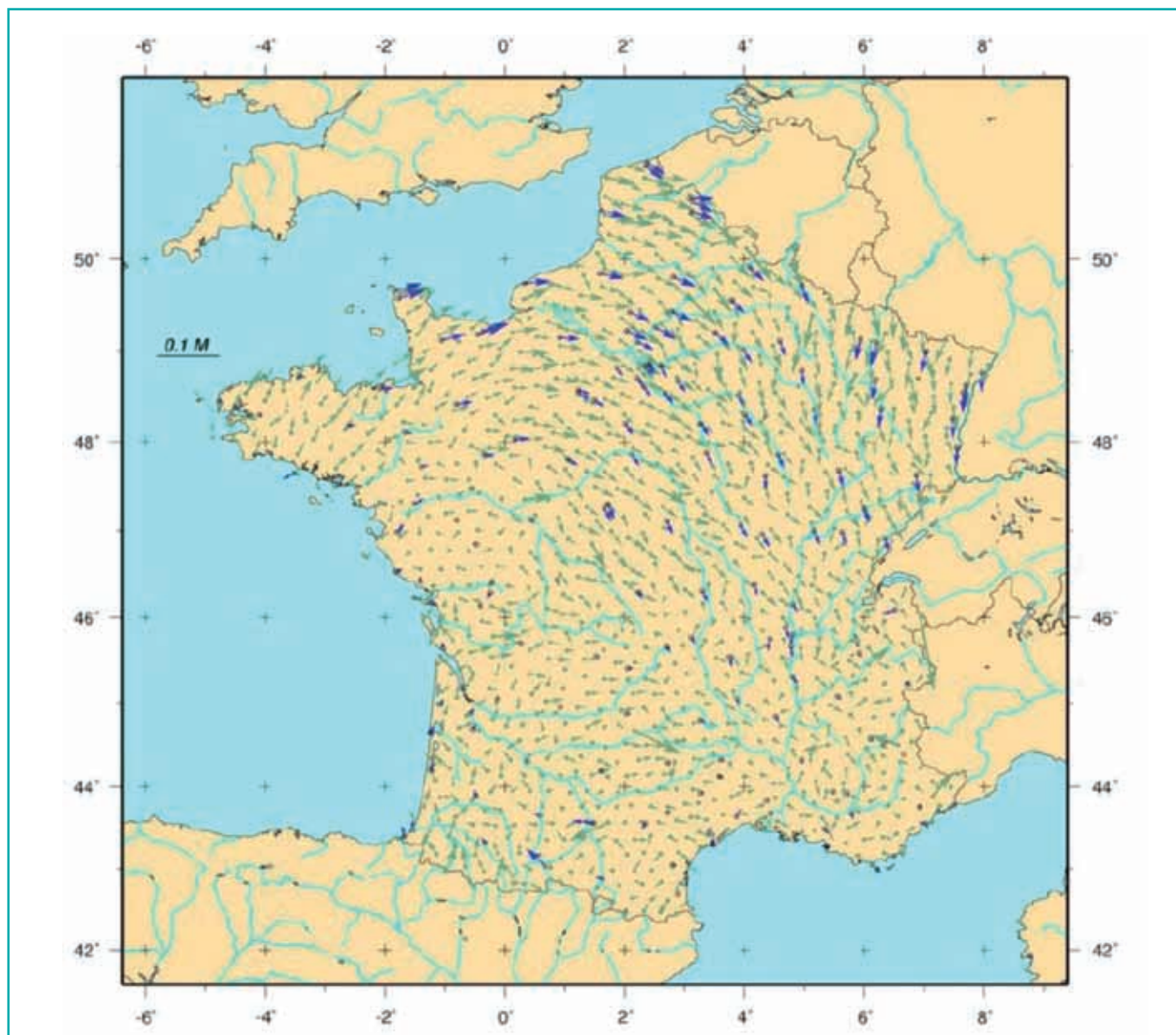


Figure 2. Ecart planimétriques du RGF93 rénové.

mégarde on utilisait RAF98 avec les nouvelles hauteurs ou RAF09 avec les anciennes hauteurs les altitudes seraient faussées des quantités de la figure 3.

### Mise en service des nouvelles coordonnées RGF93

Depuis l'existence des réseaux de géodésie ou de nivellement et la publication des coordonnées associées, il a toujours été procédé à des mises à jour, suite à des réfections ou extensions locales, ou encore à des déplacements de bornes ou repères. Ce type de maintenance reste relativement

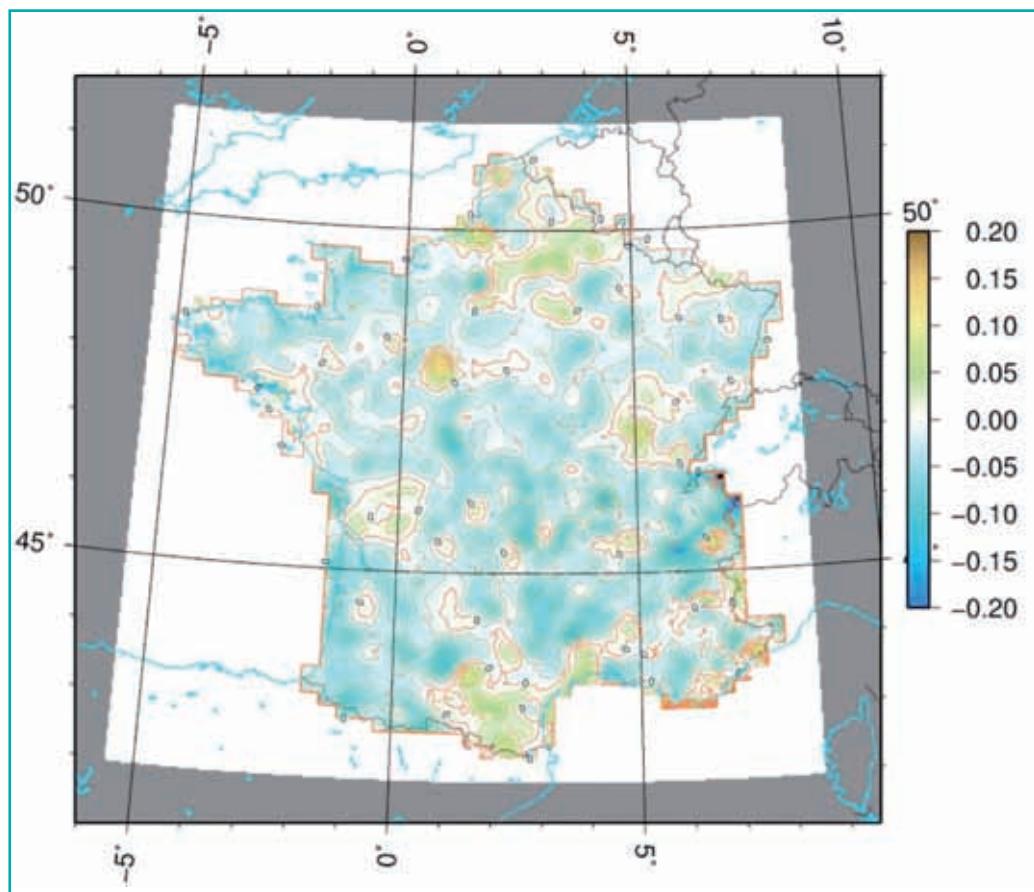
ponctuel et bien accepté – sinon demandé par les utilisateurs.

Pour l'ensemble RGP/RBF, la mise à jour en bloc doit être minutieusement préparée. Les bases de données doivent être chargées avec la prise en compte des éventuels rattachements dans chacun des sites à nouvelle détermination, en conservant bien évidemment l'historique des coordonnées et des traitements. Une large information doit être donnée aux professionnels intermédiaires (distributeurs de matériel GPS et opérateurs de réseaux temps réel par exemple) de manière à ce que puisse être prises en compte les nouvelles grilles de conversion. L'introduction de ces nouvelles grilles

doit également être effectuée dans une nouvelle version du logiciel IGN de transformation de coordonnées CIRCE. Il est également nécessaire de statuer sur le sort des sites du réseau de détail (RDF constitué des points non ré-observés de la NTF). N'ayant pas d'éléments nouveaux à même d'améliorer leur précision, il est décidé de laisser inchangées les coordonnées RGF93 publiées jusqu'alors. En conséquence, la grille de transformation NTF-RGF93 (gr3df97a de CIRCE) reste également inchangée.

Une fois tous ces éléments réunis et vérifiés, une date a été fixée pour le basculement : le 18 juin 2010 à 14 h. L'opération s'est déroulée à la date prévue. Aucun incident n'a été relevé





**Figure 3.** Ecarts entre RAF98 et RAF09. Une très forte corrélation avec les différences de hauteurs ellipsoïdales issues du RGF93 rénové doit être soulignée. Une mise à jour du nivellement est aussi à prendre en compte.



jusqu'à présent (juillet 2010). L'IGN reste cependant attentif à toute interrogation sur les éventuelles conséquences de cette rénovation.

## Conclusion

L'implication internationale de l'IGN a permis à son équipe de géodésiens d'initier sur la France métropolitaine une réalisation de très haute précision du RGF93. Dans un premier temps, une solution du RGP compatible avec le système européen ETRS89 a été calculée. Les observations de 1998 à 2009 du RGP et des réseaux internationaux ont été traitées afin de produire une solution cumulée alignée sur la référence mondiale ITRF2005.

Les observations du RBF recueillies lors des campagnes de mesures menées depuis 2001 ont ensuite été traitées exhaustivement selon ce RGP actualisé, afin d'obtenir des coordonnées RGF93 (ETRS89) deux fois plus précises. De nouvelles grilles de conversion altimétrique sont également établies (RAF09 et RAC09 pour la Corse).

L'apport fondamental de cette rénovation

de la référence RGF93 est la mise en cohérence avec les références européennes voisines, ainsi qu'un accès plus précis à la référence altimétrique NGF par GPS. ●

## Contact

**Alain HARMEL**

Institut géographique national  
Chef du service de géodésie  
et nivellement  
Alain.harmel@ign.fr

## Bibliographie

Décrets 2000-1276 du 26 décembre 2000  
et 2006-272 du 3 avril 2006

**DUQUENNE H.** *QGF98, a new solution for the quasigeoid in France.* In: Presented at the 2nd Symposium on the geoid in EuropeBudapest, Reports of the Finnish Geodetic Institute (1998)

**DUQUENNE H.** *A data set to test geoid computation methods,* Harita Dergisi (Turkish Journal of Mapping), number 18, page 61-65, 2007

**DUQUENNE H., OLESEN A.V., FORSBERG R., GODSKEHAUG A.** *Amélioration du champ de*

*pesanteur et du géoïde autour de la Corse par gravimétrie aéroportée - XYZ n° 101, décembre 2004*

**COULOMB A.** *Entretien du réseau de nivellement par les triplets - XYZ n°119*

**ALTAMIMI, Z., X. COLLILIEUX, J. LEGRAND, B. GARAYT AND C. BOUCHER** *ITRF2005: A new release of the International Terrestrial Reference Frame based on time series of station positions and Earth Orientation Parameters,* Journal of Geophysical Research, Volume 112, Number B09401 - sep 2007

**ALTAMIMI Z., SILLARD P., BOUCHER C.** *CATREF Software : Combination and Analysis of Terrestrial Reference Frames.* Publication LAREG SP08, Institut Géographique National, 2004

## ABSTRACT

*This paper presents the enhancement of the French geodetic reference frame RGF93 through the extension of permanent GPS networks and advances in spatial geodetic processing. In addition, improved vertical observations led to a better accurate height conversion model.*