

La démarche française de modernisation de la référence verticale

■ Françoise DUQUENNE - Alain COULOMB - François L'ECU

La référence verticale française (NGF-IGN69) est définie classiquement par : l'origine des altitudes est proche du marégraphe de Marseille, les altitudes sont de type normal, l'accès est fourni à l'utilisateur par un réseau composé de 256 000 km de lignes de nivellement structurées en quatre ordres, sur lesquelles existent plus de 350 000 repères de nivellement en bon état. Les altitudes sont issues de mesures de nivellement géométrique ou trigonométrique, exécutées à pied ou en motorisé, ainsi que des mesures de gravimétrie sur le premier ordre et le deuxième ordre en montagne. Cette référence légale a été établie à la fin des années 60, après ré-observation et calcul du premier ordre. A la fin du XX^e siècle, le constat est fait de l'incapacité économique à entretenir ce réseau dans sa globalité, d'où des choix qui ont varié dans le temps : complément du 4^e ordre dans les années 1990, puis réfection d'une partie du 1^{er} ordre quelques années plus tard, consistant à reconstituer des lignes de nivellement après leur détérioration. L'état même du réseau est mal connu, mais on sait qu'il y a plus de repères détruits que de nouveaux posés chaque année.

L'enquête utilisateur menée en 1998 dans le cadre d'un groupe de travail du Comité national de l'information géographique (CNIG) fait ressortir la nécessité de disposer d'un accès millimétrique à la référence verticale par l'intermédiaire d'un réseau mieux réparti et plus fréquemment entretenu. Les utilisateurs précisent aussi qu'ils ne souhaitent pas de changement de référence verticale, ayant gardé en mémoire les difficultés provoquées par le changement en 1969 du NGF-Lallemand vers le NGF-IGN69.

Dans le même temps, l'évolution des techniques de géodésie spatiale révolutionne la géodésie et apparaît le nouveau référentiel géodésique français, le RGF93, qui devient légal en 2000.

Afin de pouvoir faire des déterminations d'altitudes par GPS, un quasi-géoïde QGF98 est calculé et une grille de conversion (RAF98) entre hauteur ellipsoïdale RGF93/GRS80 et altitude NGF-IGN69 en est déduite. Elle permet de déterminer des altitudes par

MOTS-CLÉS

système de référence verticale, nivellement, GNSS, France

Une nouvelle politique d'entretien du réseau de nivellement : les triplets

La nouvelle façon d'entretenir le réseau de nivellement de précision fait intervenir la notion de "triplet". Un triplet est un groupe d'au moins trois repères de nivellement répondant aux spécifications suivantes :

- La distance entre les deux repères les plus éloignés doit être inférieure à 1 km.
- La dénivellée entre le repère le plus haut et le repère le plus bas doit être inférieure à 30 mètres.

Un triplet permet un contrôle de stabilité rapide et facile, et par conséquent peu coûteux. Principalement en raison de l'activité économique, les besoins en repères de nivellement sont spatialement corrélés avec la densité de population. Les triplets sont donc généralement implantés dans des agglomérations. Cette localisation permet aussi une meilleure conservation des repères de nivellement passant par une sensibilisation des municipalités à la conservation des repères des triplets. Depuis 2000, l'IGN a adopté une nouvelle stratégie d'entretien du réseau

observations GPS avec une précision centimétrique (3 cm à 95 %) à condition d'utiliser des méthodes GPS précises et de se rattacher également précisément à la référence géodésique RGF93. Le réseau GPS permanent RGP, mis en place depuis 1998, facilite cet accès au RGF93.

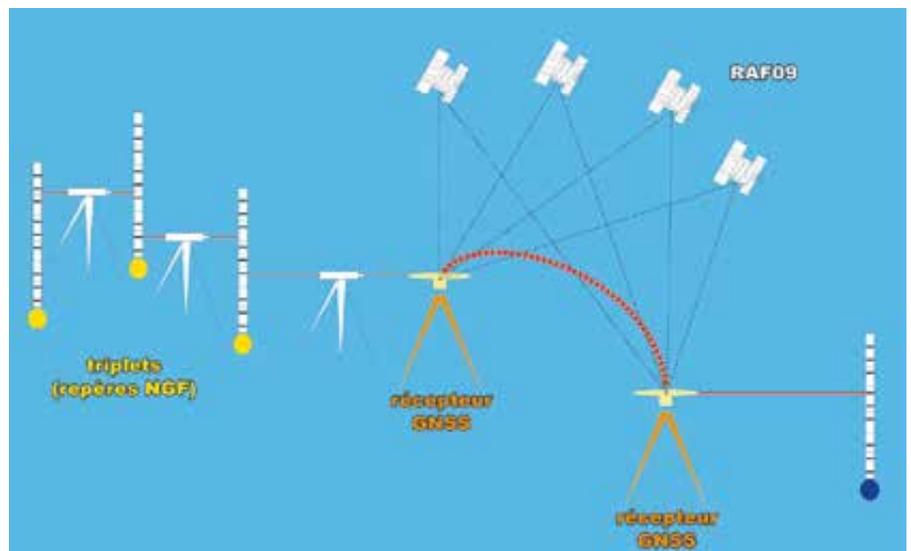


Figure 1. Schéma des observations rendues possibles par l'existence des triplets

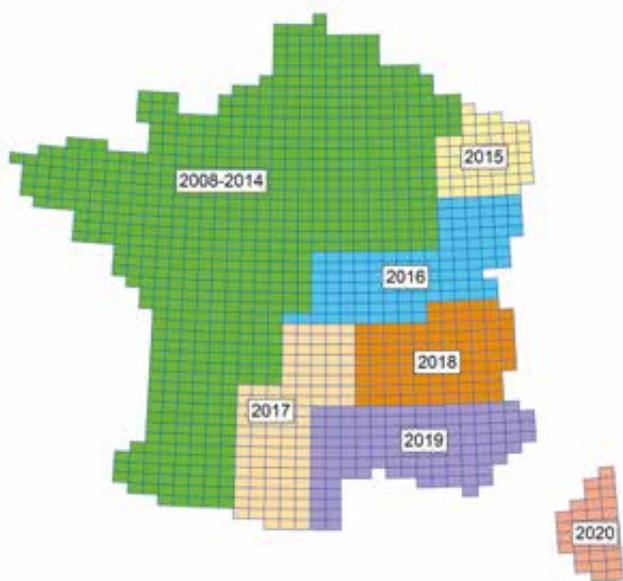


Figure 2. Carte d'avancement prévisionnel de l'entretien du réseau de nivellement par les triplets

de nivellement métropolitain qui offre à l'utilisateur de ce réseau la possibilité de déterminer l'altitude d'un point (point bleu sur le croquis) à partir d'un autre point rattaché au réseau de nivellement (points jaunes sur le croquis), en mesurant, à l'aide de deux récepteurs GNSS, la différence de hauteur au-dessus de l'ellipsoïde entre les deux sites.

Pour obtenir rapidement (en quelques dizaines de minutes) une précision centimétrique avec une telle méthode, il faut notamment que les deux récepteurs ne soient pas trop éloignés (distance entre les deux points inférieure à 5 km). L'IGN s'oblige donc à ce que tout point habité du territoire (plus de 200 habitants) soit à moins de 5 km d'un triplet.

Le rattachement au réseau de nivellement nécessite d'effectuer, au moyen d'outils de nivellement traditionnels (mire et niveau), un contrôle de l'altitude du repère de rattachement par re-mesure des dénivelées avec les repères les plus proches (opération dite "contrôle de stabilité"). Sauf cas particuliers, les repères de nivellement ne faisant pas partie d'un triplet ne font plus l'objet de nouvelles mesures.

Historiquement, la démarche a comporté plusieurs phases :

- La première de 2000 à 2008, a consisté en un contrôle systématique de l'état

du réseau, par une visite sur le terrain, qui a aussi permis de recueillir des données descriptives pour alimenter une base de données. A la fin de cette étape, on a constaté qu'environ 13 % de repères étaient détruits et 8 % non retrouvés. Cette visite a permis d'identifier des triplets existants.

- Une deuxième phase, de 2001 à 2007, a créé de nouveaux triplets (soit en utilisant un ou deux repères existants, soit en implantant trois nouveaux repères) pour couvrir les portions du territoire encore non couvertes par les triplets existants identifiés lors de la première phase. Dans cette étape on a procédé à des observations de nivellement et de GPS, d'où son nom NIVAG (nivellement assisté par GPS). Dans cette phase, 4 000 triplets ont été créés.

- La troisième phase, appelée ERNIT (entretien du réseau de nivellement par les triplets), débutée en 2008 et programmée sur 12 ans, est la première itération d'un entretien



Figure 3. Schéma des observation NIVAG



Pick-up équipé



Antenne GPS et ruban à code-barres

Figure 4. Équipement matériel NIVAG

systématique du réseau, où les 13 200 triplets identifiés sur le territoire français sont observés.

Les méthodes d'observations : Dans les deux phases NIVAG et ERNIT, il s'agit de faire des observations de nivellement et de GNSS. Cependant les méthodes sont différentes du fait des objectifs différents mais aussi parce que les méthodes d'observations ont évolué dans le temps.

■ NIVAG : le nivellement assisté par GPS

L'intérêt de la méthode est d'amener l'altitude NGF-IGN69 dans des lieux relativement éloignés du réseau de nivellement existant. Plutôt que de faire un long cheminement de nivellement de précision, on amène l'altitude grâce à des mesures GPS et à la grille RAF98.

Pratiquement, on installe un récepteur GPS (pivot) proche de repères de nivellement, et on procède à son rattachement au NGF par nivellement de précision (en faisant un contrôle de stabilité). On rattache aussi ce pivot à la référence géodésique RGF93 en mettant en station un récepteur sur un point du Réseau de base français (RBF) (Figure 3). La durée d'observation sur le pivot est de 48 heures. Le pivot sert à plusieurs triplets et on installe successivement un récepteur GPS proche de chaque triplet et à moins de 15 km



Figure 5. Matériel utilisé pour les observations ERNIT : antenne GNSS équipée d'une mire code-barres et niveau TRIMBLE DINI

du pivot. La durée d'observation est 3 heures. L'antenne GPS est rattachée au triplet par nivellement de précision. La différence de hauteur entre chaque point village et le pivot est convertie en différence d'altitude en utilisant la grille RAF98. Celle-ci étant utilisée en relatif, la précision de cette conversion est proche du centimètre. L'ensemble des pivots constitue un jeu d'environ 1 000 points GPS nivelés, qui a permis de tester la précision absolue de la grille RAF98, et par la suite de calculer la grille RAF09.

■ ERNIT : l'entretien du réseau de nivellement par les triplets

Il s'agit ici de vérifier, par nivellement de précision, la stabilité des repères constituant les 13 200 triplets et d'attribuer à tous ces repères une hauteur ellipsoïdale au-dessus de GRS80 dans le système RGF93, en installant une station GNSS à proximité du triplet et en calculant les coordonnées RGF93 à l'aide de plusieurs stations RGP.

Ainsi, dans les zones instables, il sera ensuite facile de mesurer par GNSS les variations de hauteurs et d'en déduire les variations d'altitudes à partir des stations du RGP dont les mouvements sont contrôlés en continu au millimètre près. Cette méthode est évidemment plus légère et moins coûteuse, que des cheminements de nivellement qui peuvent être longs pour rejoindre une zone stable. La stabilité interne du triplet sera bien entendu toujours vérifiée par nivellement de précision.

Au fur et à mesure de l'avancement des travaux, ce jeu de 13 200 points GPS

nivelés permettra de réaliser une nouvelle grille RAF, dont on espère une précision meilleure que le centimètre sur 90 % du territoire.

Observations sur les triplets :

- nivellement de précision entre les

repères du triplet (niveau Trimble Dini et mire code-barres),

- détermination de la hauteur ellipsoïdale du triplet (récepteurs bi-fréquence, antennes *choke-ring*, 2,5 heures d'observation au minimum, cadence d'acquisition des mesures : 30 secondes, angle de coupure : 10°). Au 1^{er} janvier 2008, l'ancienneté moyenne des triplets était de 28 ans. Au 1^{er} janvier 2015, cette ancienneté était de 12 ans. L'objectif est d'atteindre en 2020 une ancienneté moyenne de 6 ans.

La base de données et le site WEB de diffusion des fiches de nivellement, permet de voir l'évolution de l'utilisation du réseau de nivellement. La consultation des fiches diminue très lentement mais le nombre de consultation mensuelle, proche de 20 000 témoigne d'une utilisation encore très importante du réseau de nivellement.

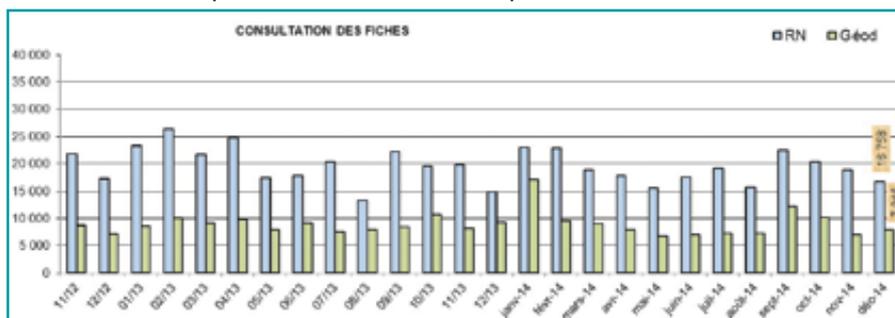


Figure 6. Consultation des fiches descriptives des repères de nivellement et des sites géodésiques



Figure 7. Site web du réseau GNSS permanent

Pendant ce temps, les méthodes GNSS évoluent en France

La méthode des triplets requiert une détermination très précise de la hauteur ellipsoïdale, qui est la composante la plus difficile à obtenir avec précision en GNSS. Il faut aussi pour en déduire les altitudes disposer d'une grille précise et de grande résolution pour la conversion entre la hauteur ellipsoïdale au-dessus de l'ellipsoïde GRS80 dans la référence géodésique française RGF93 et l'altitude IGN69. Donc les observations et les calculs GNSS doivent assurer une précision optimale dans la détermination de la hauteur mais aussi dans le rattachement au RGF93.

Les moyens d'accès à cette référence géodésique nationale ont évolué pendant la mise en place de cette démarche des triplets, facilitant l'accès et améliorant la précision.

Le RGF93 est la composante française du système géodésique européen ETRS89 (*European Terrestrial Reference System*). La mise en place de ce système a commencé en 1993 avec l'implantation du réseau de référence (RRF) constitué de 12 points matérialisés, qui ont été observés dans les campagnes européennes EUREF 89. Les observations de géodésie spatiale ont consisté en du GPS mais aussi du VLBI (*Very Long Base Interferometry*) et du laser sur satellite.

Ce réseau a été densifié entre 1994 et 1996 par le RBF (réseau de base fran-

çais), réseau d'environ 1000 points matérialisés et répartis uniformément sur le territoire (un point tous les 25 km). C'est par ce réseau que les utilisateurs ont pu commencer à travailler dans le RGF93, qui devient la référence nationale par un décret en 2000.

A partir de 1998, des stations permanentes GPS commencent à être installées, facilitant ainsi l'accès à la référence RGF93, puisque l'utilisateur n'est plus obligé de mettre un récepteur sur un point matérialisé.

Le RGP est un réseau de stations GNSS permanentes coordonné par l'IGN, mis en place à partir de 1998 dans le cadre d'un partenariat public-privé et composé aujourd'hui de plus de 400 stations. Ces stations sont installées par des organismes publics ou privés, et leurs observations sont mises à disposition gratuitement via internet avec un délai maximal d'une heure. L'IGN collecte ces données, fait des contrôles de qualité, et les met à disposition sur internet via un serveur FTP et un site WEB.

Le partenariat regroupe actuellement 34 partenaires gestionnaires de stations, 12 partenaires hébergeurs de stations IGN, 7 partenaires gestionnaires de réseaux GNSS temps réel.

Le réseau GPS permanent devient réseau GNSS permanent en intégrant progressivement des récepteurs recevant Glonass et depuis 2012 Galileo.

Dans un premier temps, les stations RGP ont été rattachées au RGF93 par



Figure 9. Réfection RBF 2000-2009, écarts verticaux avec le calcul initial 1993 (Harmel A. 2010)

observations GPS sur les points RBF proches pour assurer la compatibilité des deux réseaux. Puis en 2009, suite à la publication de la réalisation ITRF2005 de l'ITRS, et dans le contexte de la commission EUREF de l'IAG, un retraitement de toutes les observations du RGP depuis 2000 est mené.

Ce traitement bénéficie d'une nouvelle version du logiciel Bernese Software (version 5), la modélisation absolue des antennes et les améliorations des modèles de correction (surcharge océanique, troposphère, etc.).

Pendant les campagnes NIVAG, tous les points du RBF ont été observés par session de 48 heures, et en combinant ces observations avec celles simultanées des stations RGP les plus proches, les coordonnées du RBF ont été recalculées. Les écarts de coordonnées avec le jeu ancien, étaient inférieurs à 3 cm en planimétrie et pouvaient dépasser 10 cm en hauteur, essentiellement dus au progrès dans le traitement de la composante verticale.

Une grille de conversion altimétrique de plus en plus précise

Pour déterminer des altitudes à partir de hauteurs ellipsoïdales, il faut un processus de conversion en altitude et usuellement on dit utiliser un géoïde. Ceci n'est pas rigoureux, car d'une part selon le type d'altitude il s'agit soit d'un géoïde (altitude orthométrique) soit d'un quasi-géoïde (altitude normale),

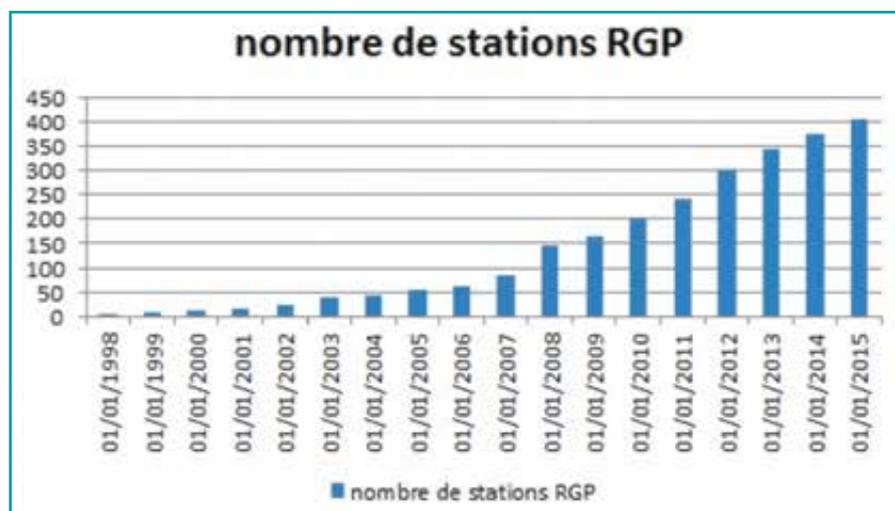


Figure 8. Graphique de nombres de stations RGP par an de 1998 à aujourd'hui



d'autre part que ce soit la réalisation d'un modèle de géoïde ou du système de référence vertical, ils ont leurs systématismes dont il faut tenir compte. Le processus adopté en France (Figure 10) consiste donc à calculer un quasi-géoïde gravimétrique régional à haute résolution et à faire une adaptation sur un jeu de points GPS (GNSS) nivelés.

■ Le quasi-géoïde QGF98

Le quasi-géoïde français QGF98 est l'aboutissement de recherches et développements menés de 1996 à 1998 à l'IGN et l'ESGT (École Supérieure des géomètres et topographes).

La méthode de détermination de ce quasi-géoïde est la méthode de Stokes avec retrait-restauration, méthode du terrain résiduel, et intégrations classiques. Un modèle numérique de terrain au pas de résolution 140 x 140 m permet de faire les corrections de terrain avec un rayon de 110 km, et un rayon d'intégration de Stokes de 2°. Le modèle de géoïde mondial utilisé est OSU91, les données gravimétriques sont issues de la base de données du Bureau Gravimétrique International : 400 000 mesures terrestres, des données en mer par croisières maritimes, et le modèle Sandwell issu de l'altimétrie par satellite. Les calculs sont exécutés avec le software Gravsoft (Forsberg et Tscherning).

■ La grille RAF98 :

La comparaison de QGF98 avec 978 points GPS nivelés met en évidence des écarts qui sont matérialisés sous forme de tendance, de signal et de bruit.

$$\zeta_{GPS-NIV,i} - \zeta_{QGF98,i} = a + b(\varphi_i - \varphi_0) + c(\lambda_i - \lambda_0) + v_i$$

La tendance : Les paramètres a, b, c proviennent des différences entre le zéro du modèle de champ et celui de l'IGN69, de son biais nord-sud, des erreurs à grandes longueurs d'ondes du modèle de champ (OSU91), du biais nord-sud de la référence verticale et du fait que le système de référence géodésique du quasi-géoïde n'est pas le RGF93.

Le signal : c'est la partie corrélée des résidus, due aux erreurs régionales de modèle de champ, de la gravimétrie, du RBF, du nivellement.

Tableau 1. Paramètres de l'adaptation RAF98

	Paramètre	Unité	Valeur
a	Biais constant	m	0,060
b	Pente vers le nord	m/1000 km	-0,5258
c	Pente vers l'est	m/1000 km	0,7852
v min	Résidu minimal	m	-0,379
v max	Résidu maximal	m	0,676
σ_v	Écart-type des résidus	m	0,109
σ_s	Écart-type du signal	m	0,104
σ_v	Écart-type du bruit	m	0,034

Le bruit : dû aux erreurs locales du RBF et du réseau de nivellement, fautes d'observations (GPS, nivellement, gravimétrie).

Les résidus de l'adaptation sont répartis par la méthode de collocation sur une grille baptisée RAF98 (pour la référence

altimétrique française). Des tests fournis d'une part par des utilisateurs, et d'autre part par l'utilisation pour le NIVAG, permettent d'établir que la précision de la grille RAF98 est de 3 cm à 95 %.

Dans la comparaison QGF98 avec les points GPS nivelés, apparaît un

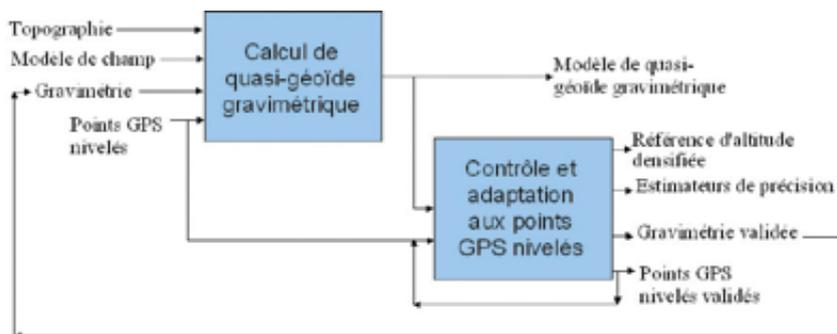


Figure 10. Processus de fabrication d'une grille de conversion (Duquenne H.2000)

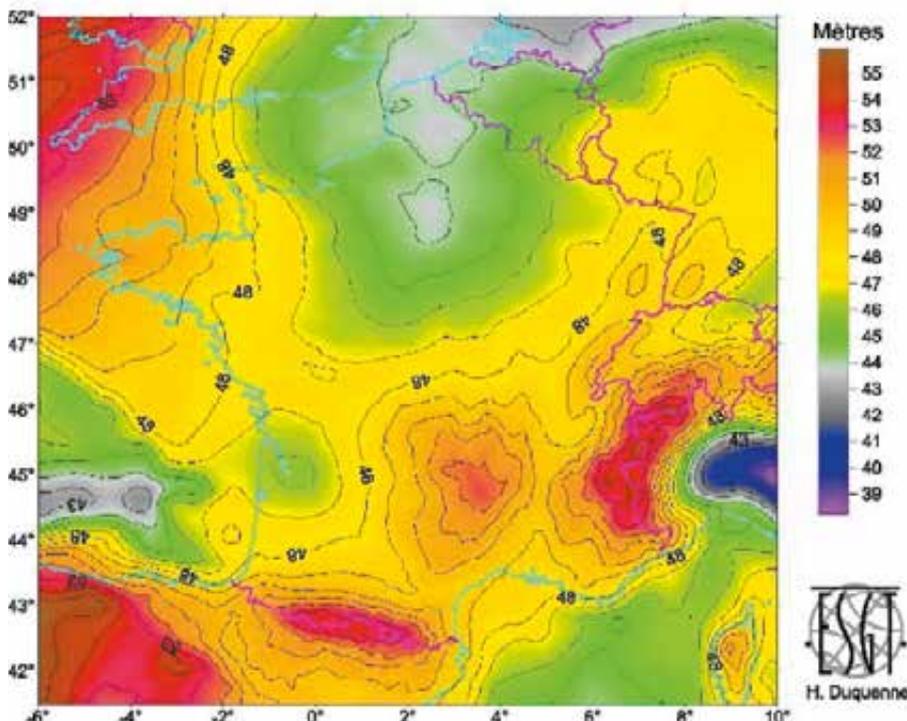


Figure 11. Quasigéoïde QGF98 (Duquenne H 2008)

Tableau 2. Paramètres de l'adaptation RAF09

	Paramètre	Unité	Valeur
a	Biais constant	m	0,030
b	Pente vers le nord	m/1000 km	-0,5524
c	Pente vers l'est	m/1000 km	0,7911
v_{min}	Résidu minimal	m	-0,326
v_{max}	Résidu maximal	m	0,584
σ_v	Écart-type des résidus	m	0,119
σ_s	Écart-type du signal	m	0,094
σ_v	Écart-type du bruit	m	0,030



problème important dans le sud de la France et sur la Corse, dû à des erreurs dans le modèle de champ OSU91 et de mauvaises données gravimétriques en Méditerranée, rendant impossible l'établissement d'une grille pour la Corse. En 2001, 2510 km de gravimétrie aéroportée sont réalisés entre la Corse et le sud de la France, et le quasi-géοίde Corse QGC02 est calculé avec ces nouvelles données et un nouveau modèle de champ : EGM96.

La grille RAC09, de conversion pour la Corse entre hauteur RGF93 et altitude IGN78 en est déduite en 2009, par adaptation à 40 points GPS nivelés.

■ La grille RAF09 :

Le re-calcul des réseaux géodésiques RGP et RBF, ayant induit des variations importantes sur la composante hauteur ellipsoïdale il devenait nécessaire de calculer une nouvelle grille de conversion. La grille RAF09 est calculée par adaptation des quasi-géοίdes QGF98 et QGC02 sur 941 points GPS nivelés : pivots et RBF observés pour NIVAG.

Les paramètres de l'adaptation sont sensiblement les mêmes que RAF98, mais les résidus sont plus faibles, confirmant ainsi une meilleure qualité dans la composante hauteur GNSS.

Dès 2010, une première évaluation sur différents jeux de données permet d'estimer la précision de RAF09 entre 1 et 2 cm. Les 6 200 points observés lors des campagnes ERNIT entre 2008 et 2013 permettent d'avoir une estimation de la précision plus fine, mieux répartie, quoique pas encore complète sur la France. Comme le montre la *figure 13*, la majorité des points (76,5 % d'entre eux) présentent un écart RAF09-observation inférieur à 2 cm en valeur absolue, avec un écart-type de 1,7 cm calculé sur l'ensemble de ce jeu de données.

■ Une nouvelle grille de conversion RAF

Un nouveau quasi-géοίde sur la France est en cours de calcul, bénéficiant de nouvelles données de gravimétrie terrestre, marines, aéroportées

et spatiales (satellite Grace et Goce). Notamment, les données de gravimétrie aéroportée en méditerranée, qui ont servi lors du calcul du quasi-géοίde QGC02 pour la Corse, seront utilisées. Elles devraient permettre de gommer les problèmes que connaît QGF98 sur la Provence. Le modèle de champ utilisé sera EGM08. Le MNT sera composé essentiellement de celui issu de la BDTopo de l'IGN pour sa partie terrestre, combiné avec les modèles Sandwell et SRTM pour la partie marine.

Une nouvelle grille de conversion altimétrique sera ensuite déduite de l'adaptation de ce quasi-géοίde aux 13 200 triplets.

Une nouvelle référence verticale dans le contexte européen ?

Le dernier changement de référence verticale en France, qui s'est produit en 1969, passant du système dit NGF-Lallemand au système NGF-IGN69, a créé un véritable traumatisme chez les utilisateurs, certaines altitudes étant modifiées d'une valeur allant jusqu'à 60 cm. Il y avait eu ré-observation du premier ordre, un nouveau calcul et un changement du type d'altitude (orthométrique en normale). C'est pour cela qu'il n'a pas été question de changer à nouveau la référence verticale, bien que des erreurs systématiques dans les altitudes IGN69 soient connues depuis longtemps.

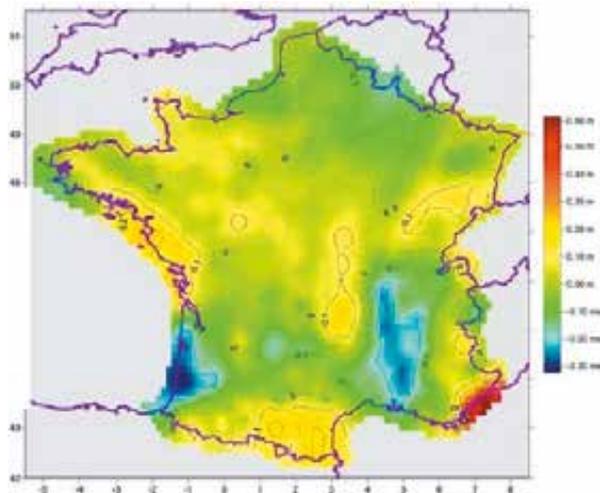


Figure 12. Résidus de l'adaptation RAF09 (L'Ecu F.2009)

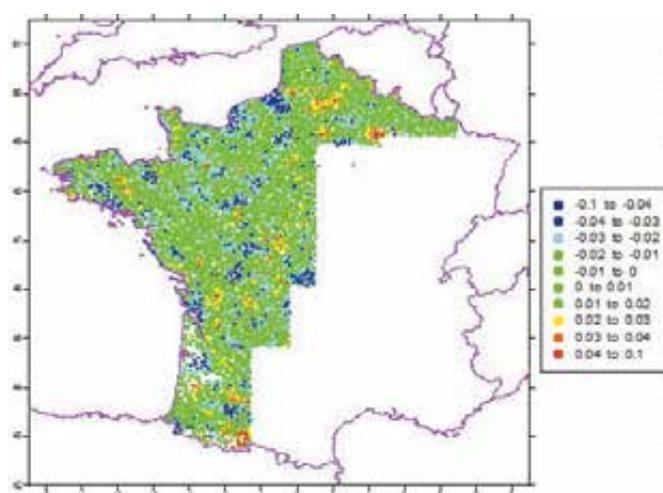


Figure 13. Comparaison de RAF09 aux points ERNIT



Cependant ceci peut s'envisager dans le cadre de la référence verticale européenne qui, pour le moment, sert essentiellement aux échanges de données de faible précision entre pays européens. EVRF2007 (*European Vertical Reference Frame*) est la dernière réalisation de ce système européen, dont l'origine des altitudes est en Mer du Nord, et les observations proviennent des réseaux de 27 pays européens.

La contribution française correspond à des observations anciennes du 1^{er} ordre et le passage d'une altitude IGN69 à une altitude EVRF2007 consiste à retrancher 47 centimètres.

Or dès 1983, une traverse sud-nord, de Marseille à Dunkerque a permis de mettre en évidence un biais d'environ 20 cm. Afin de fournir une nouvelle participation à la référence verticale européenne, l'IGN a entrepris à partir de 2000 de nouvelles observations de grande précision : le NIREF (nivellement de référence Français).

Ces grandes traverses de nivellement rejoignent les réseaux des pays voisins et passent par des marégraphes sur

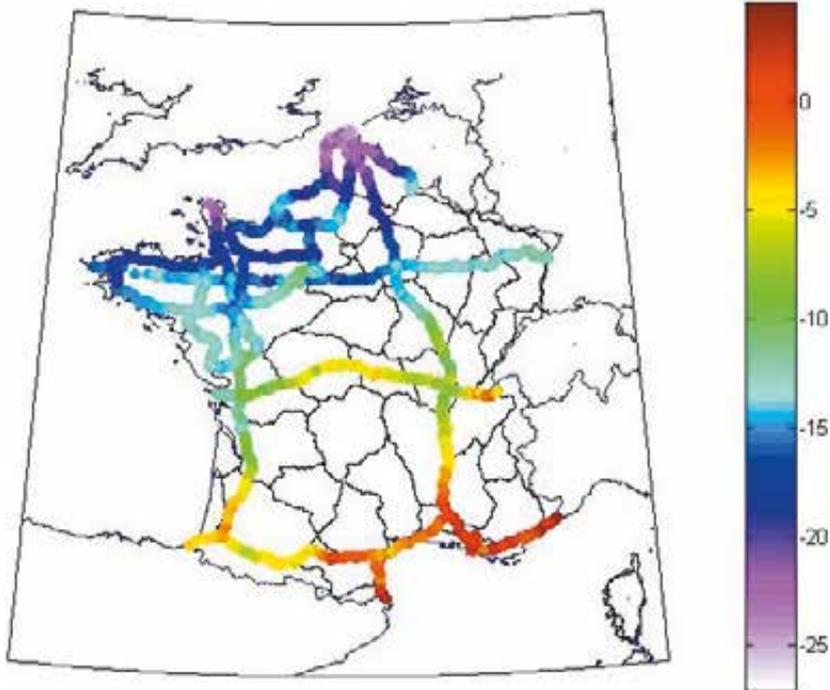


Figure 16. Répartition du biais Nord-Sud de l'IGN69 vu par NIREF

toutes les côtes françaises. Un biais nord-sud de 23 cm de l'IGN69 est confirmé. L'intégration de ces traverses dans la prochaine réalisation EVRF permettra de corriger ce biais dans la référence européenne.

Conclusion

En 2020, l'IGN aura atteint son objectif d'avoir pour la France une référence verticale matérialisée par un réseau, bien réparti, bien entretenu et facile

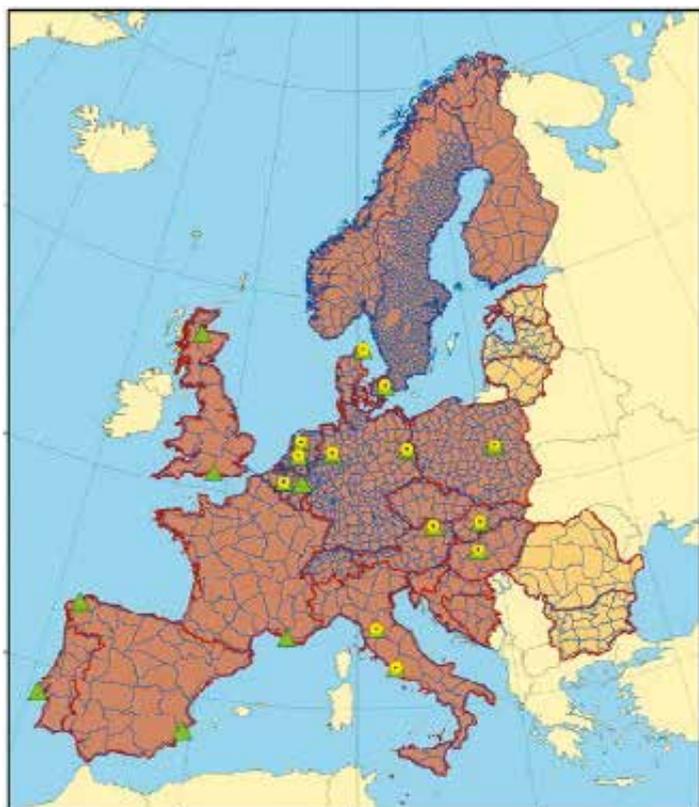


Figure 14. EVRF2007 : le réseau



Figure 15. Conversion des altitudes nationales vers les altitudes européennes EVRF2007 en cm [Liebsch G, Rulke A., Sacher M., Ihde J. (2014)]



Figure 16. NIREF : nivellement de précision motorisé

d'accès grâce aux triplets. Il faudra alors initier une seconde phase, en ré-observant les triplets, avec une fréquence probablement plus grande sur les zones connues pour être instables.

Ceci permettra d'ailleurs de mieux connaître les mouvements dans ces zones (mines, nappes phréatiques, région karstiques).

L'utilisateur aura le choix de rattacher son chantier en altitude avec une précision :

- millimétrique (1 à 5 mm) par mesure de nivellement de précision à partir des triplets,
- infra-centimétrique (0,5 à 1 cm) par technique GNSS ultra-précise et la nouvelle grille altimétrique utilisée en relatif,
- centimétrique (1 à 5 cm) par technique GNSS standard comme par exemple RTK, couplée à la nouvelle grille altimétrique utilisée en absolu.

Dans un contexte d'unification des références verticales, que ce soit au niveau continental ou mondial, et quelle qu'en soit la réalisation (par un géoïde ou autres), en disposant de la hauteur ellipsoïdale (ETRS89, ITRS) sur tous les triplets, l'attribution de nouvelles altitudes sur les repères du réseau français sera immédiate et l'élaboration de grilles de conversions dans ces nouvelles références aisées. Ainsi, même si ces références verticales ne sont pas adoptées au niveau national, les transformations précises seront disponibles. ●

Contacts

Françoise Duquenne
AFT, présidente
fh.duquenne@wanadoo.fr

Alain Coulomb - IGN/SGN/chef du département des Réseaux de référence matérialisés

alain.coulomb@ign.fr

François L'Ecu - IGN/SGN/chef du département Produits et développement, Francois.L-Ecu@ign.fr

Références

Coulomb A. (2009) *Entretien du réseau de nivellement par les triplets* Revue XYZ n°119 juin 2009

Coulomb A. (2013) *Mise au point sur les réseaux de géodésie et nivellement* Revue XYZ n°134 1^{er} trimestre 2013

Duquenne F. (2010) *Descriptifs quasi-géoïdes et grilles de conversion altimétriques* - IGN/SGN et IGN/LAREG, septembre 2010, n°03028

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

Duquenne H., Kasser M. (1998) *Dossier GPS et nivellement*, revue Géomètre n°6, Juin 1998

Duquenne H., Olesen A.V., Forsberg R., Gidskehaug A. (2002) *Improvement of the gravity field and geoid around Corsica by aerial gravimetry*. Third Meeting of the International Gravity and Geoid Commission (GG2002), Tessaloniki H., August 28-30th, 2002.

Duquenne H., Olesen A.V., Forsberg R., Gidskehaug A. (2004) *Amélioration du champ de pesanteur et du géoïde autour de la Corse par gravimétrie aéroportée* revue XYZ n°101 pp 67-74

Duquesnoy T. (2004) *Le réseau GPS permanent*, revue XYZ n°101- 4^e trimestre 2004

Harmel A. (2010) *Rénovation du RGF93* Revue XYZ n°124, 3^e trimestre 2010

L'Ecu F. (2009) - *Corse - rapport de constitution de la grille de conversion altimétrique RAC09* IGN/SGN RT/G 81, 2009

Liesch G., Rülke A., Sacher M., Ihde J (2014) *Définition et realization of the EVRS : How do we want to proceed ?* EUREF Symposium, June 04-06, 2014, Vilnius, Lithuania

ABSTRACT

IGN (French Geographical Institute or Institut national de l'information géographique et forestière) is in France the legal responsible of the references in geodesy and leveling. The decree 2011-1371 dated October 27th 2011 states that IGN is responsible in "designing and building a consistent geodetic infrastructure in coherence with international systems and managing the national geographic, gravimetric and height reference systems." As IGN was setting up its new geodetic reference (RGF93) and the access to this infrastructure via the permanent GNSS reference network (RGP), currently with more than 400 stations, IGN has arisen from year 2000 questions about the vertical reference infrastructure: should we maintain a network of materialized benchmarks, how to maintain it, how to couple traditional leveling measurement and GNSS measurement to improve productivity and to reduce costs? After an user survey, the proposal called the "triplets" was therefore specified that any inhabited area (village of over 200 inhabitants) should be at less than 5 km from a "triplet". that is to say a group of at least three nearby benchmarks, tied by precise leveling and allowing the user a quick check of stability through conventional leveling means. GNSS observations and leveling using triplets allowed to develop conversion elevation grids more and more accurate, improving the determination of altitude by GNSS. Finally, a new vertical reference may be considered in a European context with EVRS (European Vertical Reference).