

Le RGF93v2b : une nouvelle réalisation du RGF93

■ Romain FAGES

Le 4 janvier 2021, l'IGN a effectué une opération de maintenance du repère de référence géodésique RGF93 en publiant une nouvelle réalisation de celui-ci, le RGF93v2b.

■ MOTS-CLÉS

RGF93, Réseau géodésique français, réalisation, maintenance

L'IGN, via son service de Géodésie et de Métrologie, a pour mission régaliennne la détermination du système légal de référence de coordonnées, ainsi que la fourniture de l'accès à cette référence. Ce repère de référence, le RGF93, a succédé en Métropole à l'ancien système bidimensionnel NTF dans les années 90. Les deux grands intérêts de ce changement à l'époque étaient d'avoir une référence de coordonnées totalement compatible avec le système GPS et d'avoir une interopérabilité au niveau européen. En effet, le système français est la réalisation pour la France métropolitaine de l'ETRS89, le système européen adopté en 1990 par la commission EUREF de l'AIG pour l'Europe, comme système géodésique paneuropéen de référence pour la collecte, l'analyse et l'archivage des données géographiques. Mais grâce à la très faible activité tectonique en France métropolitaine, toute notion de vitesse est absente du système français, facilitant par là même son utilisation. Le RGF93 permet ainsi à la France de répondre aux exigences de la directive INSPIRE en matière d'harmonisation et d'interopérabilité des données géographiques à l'échelle du continent.

Ce RGF93v2b constitue la troisième réalisation du système RGF93.

Opérations de maintenance passées

La première réalisation, le RGF93v1, a été obtenue dans les années 90 par des observations GPS de longues durées sur 23 bornes de référence et a été alignée sur le système européen via la réalisation ETRF93 à l'époque 1993

grâce à seulement trois points fondamentaux que sont Grasse, Toulouse et Brest. L'écart résiduel sur les coordonnées (géographiques) par rapport à un modèle de transformation à sept paramètres avec l'ancien repère NTF était alors de l'ordre de 3 m. Ce réseau initial de 23 sites a été complété en 1994 et 1995 par des observations GPS de courtes durées sur environ 1 000 bornes géodésiques supplémentaires afin de densifier l'accès à la référence.

Les années 2000 ont vu l'émergence des réseaux permanents partout en Europe et en particulier en France avec le RGP (Réseau GNSS Permanent, <http://rgp.ign.fr>). Cela a permis à l'IGN en 2009-2010 de concevoir une deuxième réalisation du RGF93, le RGF93v2, publiée le 18 juin 2010, qui améliorerait très notablement la cohérence interne du RGF93 et externe avec les réalisations des pays voisins. Celle-ci a été obtenue à partir d'un "cumul" de 10 ans de données GPS de stations permanentes françaises et étrangères issues de l'infrastructure géodésique mondiale. Les résultats de ce cumul, effectués nativement dans le repère de référence international ITRF2005, ont été exprimés en ETRF2000 époque 2009.0 avec l'utilisation de paramètres de transformation théorique (EUREF Technical Note 1, ETRF2000 (R05), table 3). L'écart brut de coordonnées entre la première et la seconde réalisation était alors subcentimétrique dans le triangle Brest-Grasse-Toulouse, mais allait jusqu'à 3 cm en dehors de ce triangle, notamment dans le Nord de la France (cf. Rénovation du RGF93, A. Harmel, XYZ n° 124, 3^e trimestre 2010). L'infrastructure du RGP deve-

nait alors la base et l'accès primaire au repère de référence RGF93, complétée par l'infrastructure géodésique matérialisée constituée des bornes géodésiques déterminées par rapport aux réseaux permanents.

Un peu de méthodologie

Un "cumul" consiste à recalculer *a posteriori* l'ensemble des données GNSS d'un réseau permanent de manière cohérente, d'abord de façon journalière ou hebdomadaire, puis de regrouper ces solutions en une unique solution de positions et vitesses dans un repère de référence international. C'est un exercice utile pour de nombreux projets scientifiques, mais également le moyen moderne de réaliser des systèmes de référence nationaux. L'IGN procède à un cumul au minimum à chaque publication d'une nouvelle réalisation ITRF du système de référence international, l'ITRS et c'est donc ce qui a été réalisé en 2018-2019 à la suite de la parution de l'ITRF2014.

Le logiciel (CATREF) et la méthodologie utilisés sont proches de ceux de la création des repères de référence internationaux, mais moins poussés scientifiquement, notamment en ce qui concerne le filtrage des données (supprimées car considérées comme fausses), ou les termes périodiques annuels ou semi-annuels qui ne sont pas estimés. En effet, l'objectif est notamment de pouvoir déterminer un niveau de bruit de chaque station et un critère de confiance que l'on peut avoir dans chacune : des termes périodiques ou un niveau de bruit élevé traduisent donc une réalité de la station et sont vus comme une gêne au positionnement pour l'utilisateur final. Ces indices de confiance sont par conséquent publiés sur le site du RGP sous la forme de "statuts de stabilité".

Pourquoi une nouvelle opération de maintenance

Outre divers projets scientifiques, un cumul régulier est nécessaire principalement pour trois raisons.

Les calibrations d'antenne permettent de faire le lien entre le centre de phase des antennes, là où la mesure est physiquement effectuée, et le point de référence de l'antenne qui constitue le point que l'on cherche à déterminer ou à se rattacher. Ces calibrations d'antenne sont critiques pour le positionnement et ne sont mises à jour, car plus précises, que lors d'une nouvelle réalisation du système international. Elles ont une influence importante sur la composante verticale des coordonnées et une position ne peut pas être vue indépendamment de la calibration d'antenne utilisée pour la déterminer. Une mise à jour de calibration d'antennes doit donc s'accompagner d'une mise à jour de coordonnées (figure 1).

Certaines stations présentent des termes saisonniers, sous l'influence d'une masse d'eau ou de dilatation thermique du support. Lorsqu'une nouvelle station intègre le RGP, ces coordonnées sont déterminées sur trois semaines initiales, mais il peut arriver que cette période corresponde à un pic de terme saisonnier. L'état de l'art indique que deux années et demie minimum sont nécessaires pour correctement estimer un terme saisonnier (figure 2).

Il n'y a pas de notion de vitesse en RGF93, pourtant certaines stations présentent des mouvements propres à cause d'effets locaux (glissement de terrain, instabilité du bâtiment support). Pour offrir le meilleur positionnement possible via ces stations, il faut donc périodiquement les recalibrer (figure 3).

En plus de ces opérations ponctuelles mais nécessaires, le cumul réalisé en 2019 a été l'occasion de vérifier la cohérence du RGF93 avec le système européen, l'ETRF2000 étant toujours la convention choisie au niveau européen. La même méthode qu'en 2010 a été employée pour ce faire en utilisant les paramètres de la note technique d'EUREF (EUREF Technical Note 1, ETRF2000 (R14), table 3).

Et malheureusement, les écarts constatés n'étaient plus négligeables,

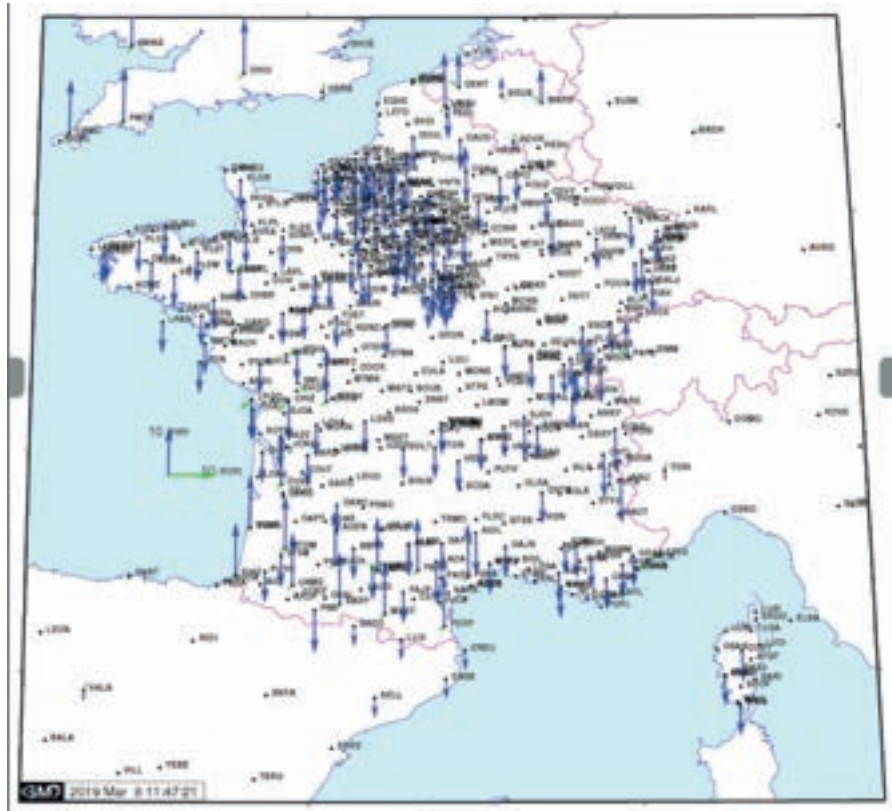


Figure 1. Changements de coordonnées théoriques dus aux changements de calibrations d'antenne lors de la parution de l'ITRF2014.

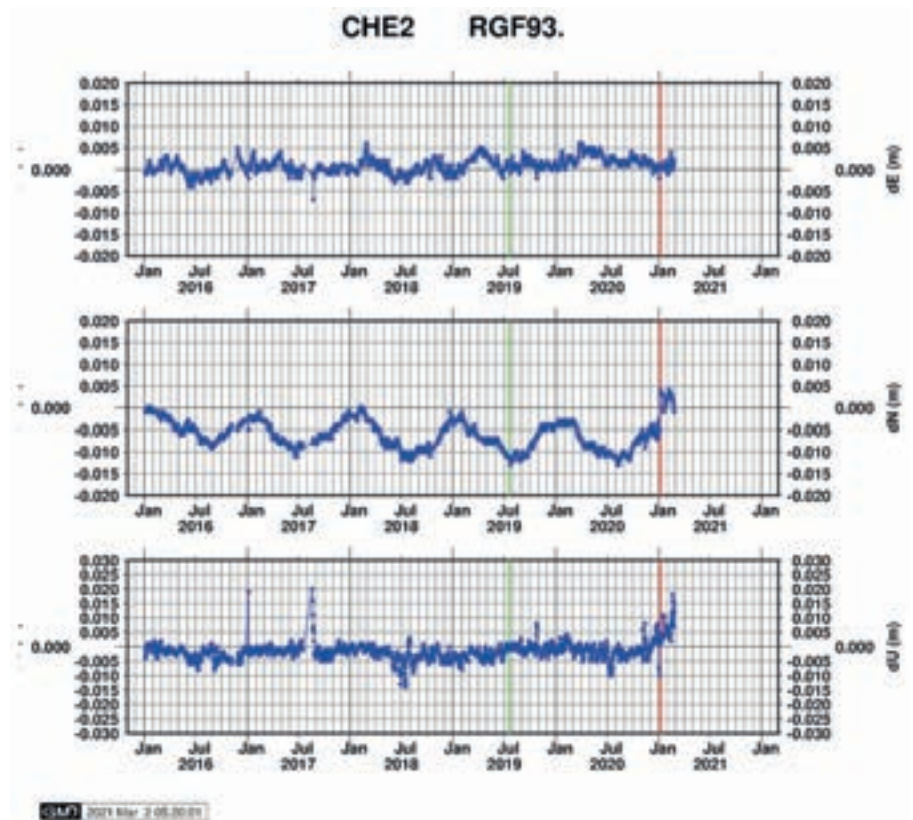


Figure 2. Exemple de terme périodique faussant la détermination initiale de la composante Nord de CHE2, composante recalée à la suite d'un cumul.

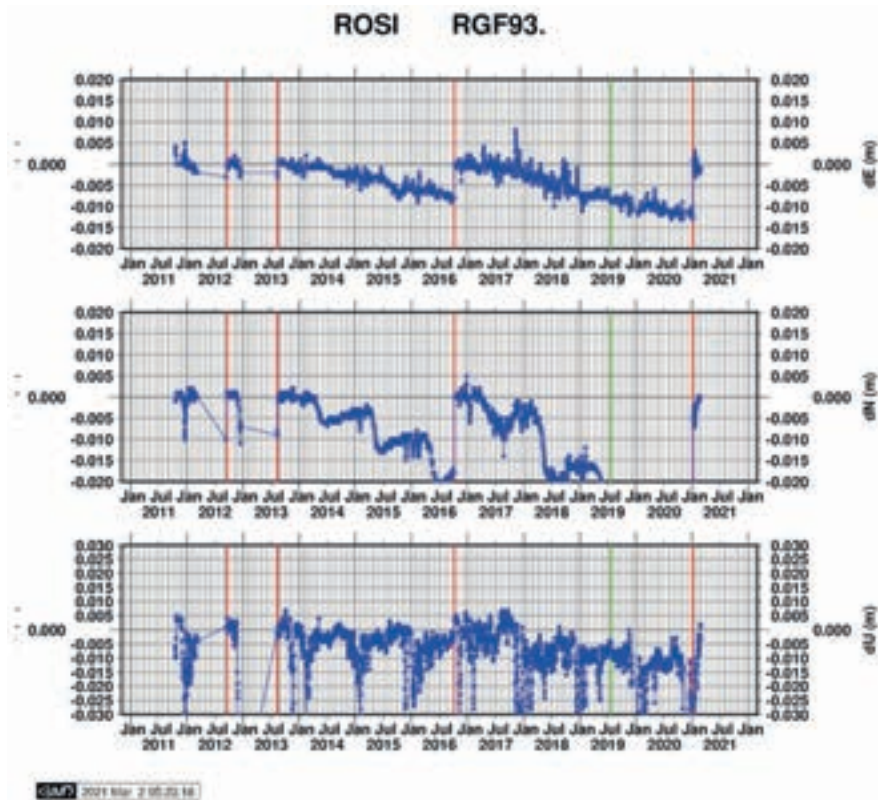


Figure 3. Exemple de mouvement propre recalé périodiquement, notamment après un cumul.

et valaient en moyenne 3 mm sur les composantes horizontales et 8 mm sur la composante verticale.

De nouveaux paramètres sont publiés à chaque publication d'un ITRF, mais les paramètres historiques ne sont pas recalculés ; ainsi les paramètres pour passer de l'ITRF2014 à l'ETRF2000 peuvent être décomposés comme la somme des paramètres ITRF2014

=> ITRF2008, ITRF2008 => ITRF2005, ITRF2005 => ITRF2000 et ITRF2000 => ETRF2000.

L'ITRF2000 et l'ETRF2000 ont été réalisés au début des années 2000 selon l'état de l'art de l'époque, avec des données allant jusqu'en 2000.0. En utilisant ces paramètres de transformations ITRF2000 => ETRF2000, nous extrapolons donc leurs incertitudes sur

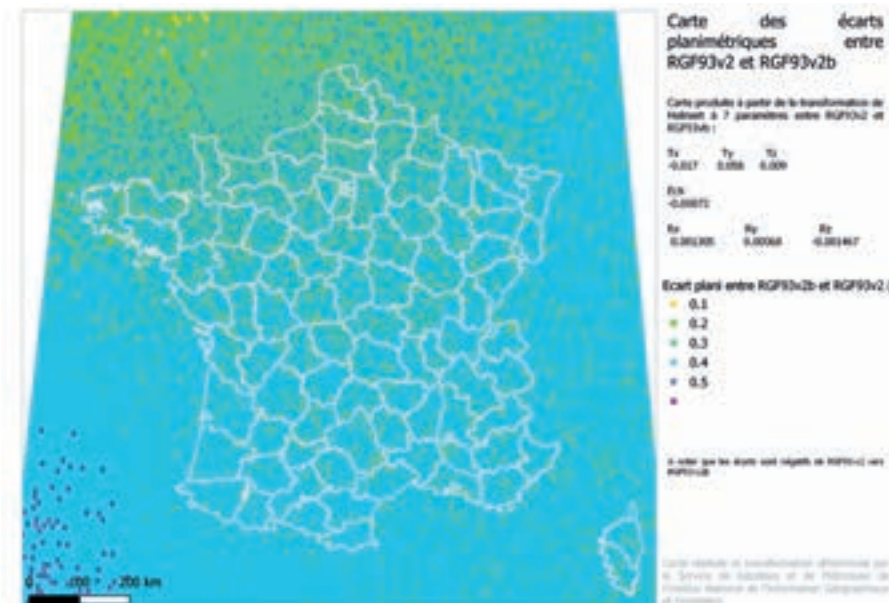


Figure 4. Écarts (en mm) entre RGF93v2b et RGF93v2 en planimétrie.

plus de 20 ans ce qui explique les écarts constatés.

Ces écarts ne sont pas gênants pour tous les utilisateurs, mais ils peuvent l'être dans deux cas de figure. Tout d'abord, lors de travaux transfrontaliers, laisser dériver la référence française par rapport à la référence européenne, c'est perdre en cohérence avec nos voisins. Ensuite, l'avènement cette dernière décennie de méthodes de calculs non différentielles telles que le PPP (Positionnement ponctuel précis), amène certains utilisateurs à obtenir des résultats directement dans une référence internationale, les coordonnées des stations permanentes (via le RGP ou utilisées dans les réseaux temps réel interpolés) ou des bornes géodésiques ne sont plus le seul moyen d'accès à la référence légale.

Un choix à faire

Ainsi, afin d'offrir l'accès le meilleur possible à tous les utilisateurs métropolitains de positionnement, il a été décidé de la publication d'une troisième réalisation du RGF93, le RGF93v2b qui correspond à l'ETRF2000 époque 2019.0. Le 4 janvier 2021, les coordonnées RGF93 de l'ensemble des stations permanentes et des bornes géodésiques ont donc été mises à jour, en prenant en compte bien sûr les changements de calibration d'antenne et les recalages de coordonnées dus aux termes saisonniers ou aux mouvements propres des stations, mais également de manière globale, pour une différence moyenne de 3 mm sur les composantes Est et Nord et de 8 mm sur la composante verticale. Si les écarts sont assez homogènes sur l'ensemble du territoire métropolitain pour les composantes horizontales (figure 4), on observe un gradient Est-Ouest assez prononcé sur la composante verticale (figure 5). En publiant "les modifications de ces informations utiles à la traçabilité des coordonnées dans le temps", cette opération de maintenance s'inscrit totalement dans le cadre du décret n° 2019-165 du 5 mars 2019 relatif au système national de référence de coordonnées et de l'arrêt associé qui définit les systèmes et réalisations en vigueur sur les différents territoires français.

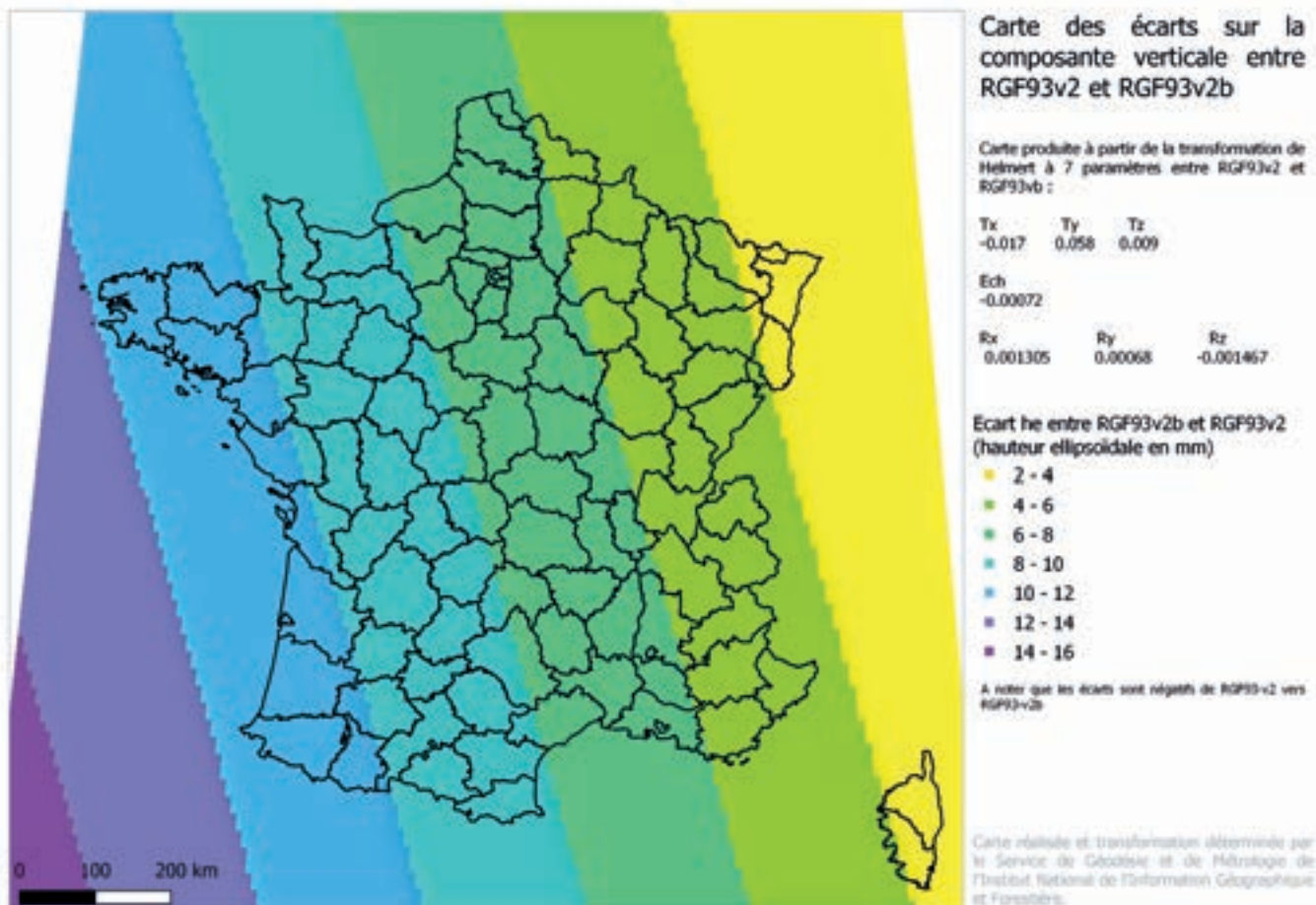


Figure 5. Écarts (en mm) entre RGF93v2b et RGF93v2 sur la composante verticale.

La grille de conversion RAF18 a elle aussi été recalculée pour tenir compte de cette nouvelle réalisation. Publier une nouvelle réalisation du RGF93 n'était pas la seule option.

Tout d'abord, nous aurions pu choisir de ne rien faire. La majorité de la communauté du positionnement utilisant toujours des méthodes différentielles (post-traitement ou NRTK), la parution d'une nouvelle réalisation ne constitue pour eux qu'un désagrément, que l'on espère limité. La cohérence transfrontalière restait largement subcentimétrique sur les frontières Est, seuls des travaux transfrontaliers avec l'Espagne pouvaient ne pas être considérés comme subcentimétriques dans le système français ou espagnol. Mais ne rien faire n'aurait fait que repousser le problème à plus tard, où le moindre changement aurait été encore plus notable. Et pour les utilisateurs PPP, cela signifiait donc une précision d'accès à la référence supra-centimétrique, avec des biais théoriques impossibles à éliminer.

Ensuite l'IGN aurait pu publier ses propres paramètres de transformation entre le système international (ITRF2014) et le RGF93v2. Si cela résolvait le problème d'accès à la référence nationale pour les utilisateurs PPP, la cohérence avec nos voisins ne s'en trouvait pas améliorée. De plus, les paramètres de transformation de la Note technique EUREF sont largement reconnus et utilisés, que ce soit par des outils en ligne, par des logiciels constructeurs ou par des récepteurs GNSS eux-mêmes.

Enfin, la dernière solution aurait consisté en un alignement sur l'ETRF2014, une réalisation européenne plus récente que l'ETRF2000. Toute cohérence transfrontalière aurait été perdue sans une mise à jour comparable par nos homologues européens. Mais surtout, l'ETRF2014 gomme tous les défauts des ETRF précédents en provoquant un "saut" dans les coordonnées. S'il constitue une réalisation moderne du système européen, en parfaite cohérence avec le système

international sans soucis majeurs prévisibles à long terme, il aurait impliqué surtout des écarts de coordonnées horizontaux de 7 cm, ce qui est réhibitoire pour beaucoup d'utilisateurs. ●

Contact

Romain FAGES

Ingénieur d'études, Réseau GNSS permanent, Service de géodésie et de métrologie, Institut national de l'information géographique et forestière
romain.fages@ign.fr

ABSTRACT

On January 4, 2021, the French Geographical Institute (IGN) completed a maintenance operation on the RGF93 geodetic reference frame by publishing the new RGF93v2b realization, the third one, defined as ETRF2000 epoch 2019.0. This paper explains the strategy adopted and describes the main results.

La nouvelle grille de conversion altimétrique RAF18b

■ François L'ÉCU

Après la publication de l'ITRF2014 et du repère de référence IGS14, le SGM a traité à nouveau les données GNSS des stations du RGP¹ et publié le 5 janvier 2021 un nouveau jeu de coordonnées dans le repère de référence géométrique RGF93, le RGF93V2b aligné sur l'ETRF2000 époque 2019.0. La nouvelle grille de conversion altimétrique RAF18b, associée à ce repère RGF93V2b et définie dans cet article, permet le passage des hauteurs ellipsoïdales à des altitudes NGF-IGN69.

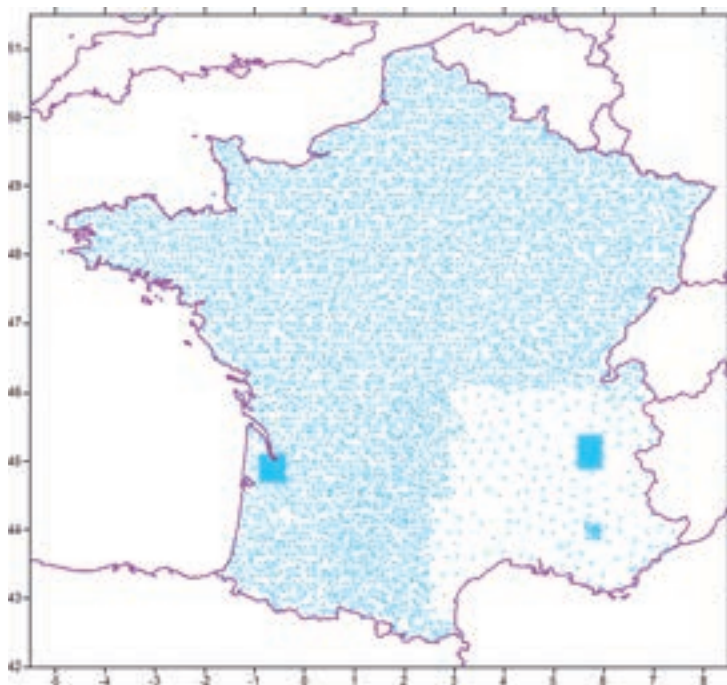
■ MOTS-CLÉS

GNSS, ITRF14, IGS14, RGF93, grille, conversion, hauteurs, altitudes

Après la publication de l'ITRF2014 et du repère de référence de l'IGS, l'IGS14, le SGM (Service de géodésie et de métrologie de l'Institut national de l'information géographique et forestière) a traité à nouveau les données GNSS des stations du RGP et des stations IGS de référence de 1998 à 2018, cumulé les solutions hebdomadaires et journalières obtenues et aligné la solution retenue sur l'IGS14. Ceci a conduit à la publication d'un nouveau jeu de coordonnées dans le repère de référence géométrique RGF93 pour les stations du RGP, nommé RGF93V2b, qui est aligné sur l'ETRF2000 époque 2019.0. Celui-ci remplace, à partir du 5 janvier 2021, la solution de référence qui était en vigueur depuis juin 2010, à savoir le RGF93v2, qui était, quant à elle, directement compatible avec l'ETRF2000 époque 2009.0 (*lire l'article RGF93v2 en page 26*).

La surface de conversion altimétrique RAF18b, associée à la version RGF93V2b, permet le passage des hauteurs ellipsoïdales dans ce repère à des altitudes NGF-IGN69. Elle est obtenue par adaptation du quasi-géoïde QGF16 à un ensemble de 10 658 points d'appui GNSS nivelés (*figure 1*). On

Figure 1.
L'ensemble des 10 658 points d'appui GNSS nivelés.



note que les plus récents d'entre eux ont été collectés sur le terrain en 2018, d'où le millésime "18" adopté pour la nouvelle grille. Ils ont été choisis en fonction de la qualité de leur détermination géométrique par mesures GNSS et altimétrique par nivellement, mais aussi d'après une analyse spatiale ayant permis d'obtenir une bonne répartition géographique de l'ensemble.

Leurs sources sont multiples : points issus des processus NIVAG² et ERNIT³ d'entretien de l'infrastructure altimétrique par mesures GNSS, des campagnes d'entretien du réseau géodésique RBF, des stations RGP nivelées et des données fournies par des partenaires : Grand port maritime du Havre, OGE, SHOM, SONEL...

Le quasi-géoïde QGF16 a été adapté sur les points d'appui en utilisant le logiciel Surfer. Le principe consiste à déterminer, aux points d'appui, l'écart entre l'ondulation observée Nobs et l'anoma-

lie d'altitude ζ issue du quasi-géoïde, d'en faire une grille, puis s'en servir pour interpoler par krigeage cet écart aux nœuds de la future grille de conversion altimétrique RAF. En ces mêmes nœuds, on détermine par ailleurs la valeur de ζ issue du quasi-géoïde. Enfin, on la corrige de l'écart interpolé, pour la rendre conforme à l'observation, ramenée à la référence altimétrique.

Le résultat est un fichier de grille au format GravSoft, d'emprise : $42^\circ \leq \phi \leq 51.5^\circ$ et $-5.5^\circ \leq \lambda \leq 8.5^\circ$; et de pas 0.025° en latitude et 0.033° en longitude. En *figure 2*, la grille représentée en teintes hypsométriques et courbes de niveaux.

Pour évaluer sa qualité, un autre jeu de 5 728 points de contrôle a été utilisé. Ils sont globalement de même source que les points d'appui et ont été choisis selon les mêmes critères : qualité des déterminations géométriques et altimétriques et bonne répartition spatiale (*figure 3*).

On détermine l'écart entre l'ondulation N fournie par les mesures combinées

¹ RGP : réseau GNSS permanent.

² NIVAG : nivellement aidé par GPS.

³ ERNIT : entretien du réseau de nivellement par les triplets.



de GNSS et de nivellement et celle fournie par le modèle, aussi bien sur les points d'appui (test interne) que sur les points de contrôle (test externe). On obtient les résultats statistiques exposés au *tableau 1*.

	Test interne	Test externe
Nombre de points	10 658	5 728
Moyenne	2.930 10 ⁻⁵ m	0.001 m
Écart-type	0.003 m	0.011 m
Valeur minimale	-0.019 m	-0.029 m
Valeur maximale	0.022 m	0.029 m

Tableau 1. Tests de qualités interne et externe de RAF18b.

Ces valeurs permettent de dire que la précision de la grille RAF18b, déterminée grâce à la valeur de l'écart-type sur les points de contrôle, est de 1 cm à 1 sigma. L'écart-type de 3 mm sur les points d'appui atteste par ailleurs de la cohérence interne du modèle.

Cet indicateur est global et est avant tout pertinent dans la zone couverte par les données ERNIT, c'est-à-dire la France privée de sa zone Sud-Est. Qu'en est-il pour les autres parties du territoire ? Jusqu'alors, pour toutes les grilles produites au SGM, on avait affecté à chaque nœud un code de précision par simple attribution

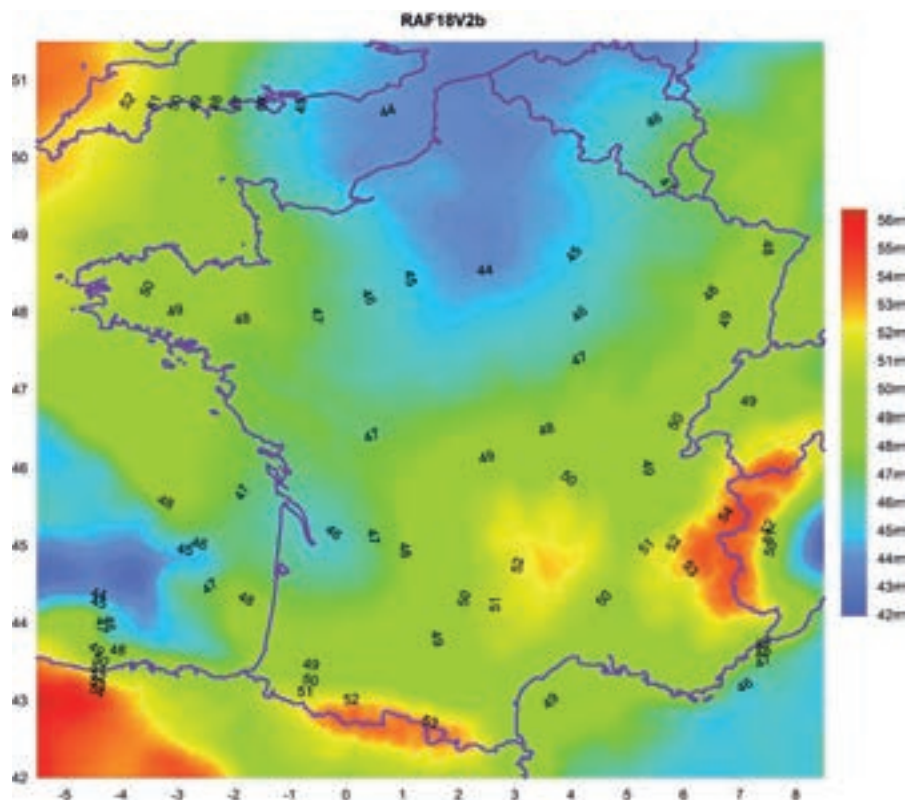


Figure 2. Représentation graphique de la grille de conversion.

zonale, en fonction de la connaissance empirique que l'on pouvait avoir de la précision des points d'appui et de contrôle dans telle ou telle partie du territoire. Pour affiner, on a développé cette fois une méthode d'interpolation de la précision en chaque nœud de la grille qui s'appuie sur les écarts réels

entre le modèle et l'observation. Pour ce faire, on a à nouveau utilisé l'outil de krigeage sous Surfer. L'écart brut aux points de contrôle entre ondulation issue du modèle et ondulation observée a été interpolé aux nœuds de la grille RAF18b, rendant ainsi l'information plus fine et plus réaliste, tout en

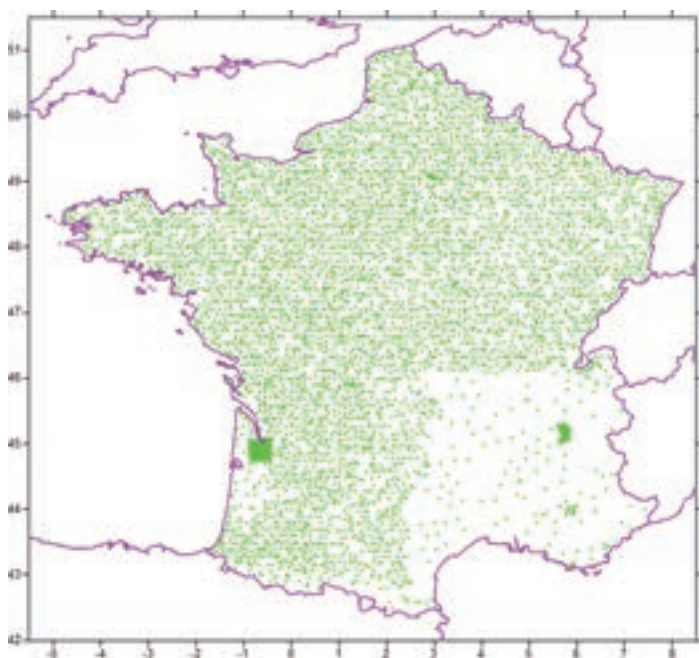


Figure 3. Les points de contrôle utilisés pour le test externe.

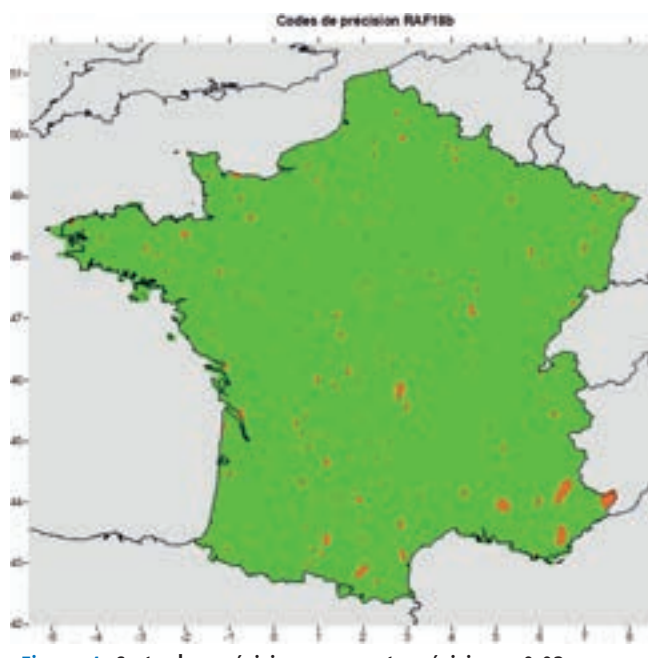


Figure 4. Carte des précisions, en vert, précision < 0.02 m ; en orange, précision > 0.02 et < 0.05 m ; en gris, pas d'information.

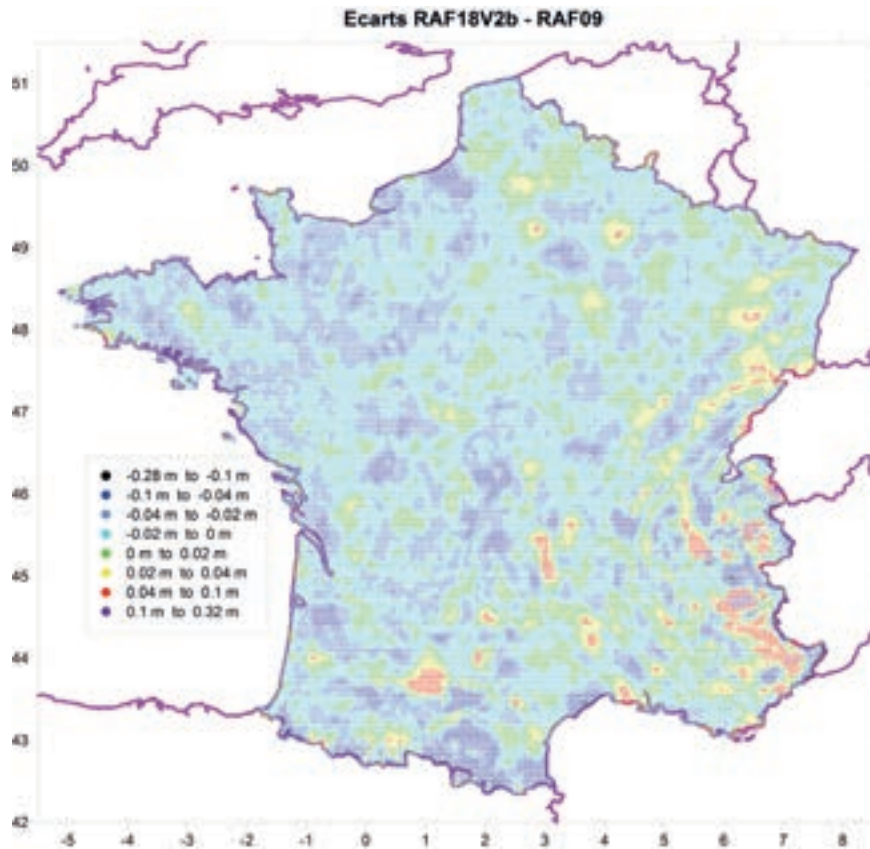


Figure 5. Carte des écarts entre la grille RAF18b et la grille RAF09.



bénéficiant des progrès accomplis. La carte en figure 4 illustre la répartition zonale de ces codes, avec la légende suivante : en vert, précision meilleure que 0.02 m ; en orange, précision comprise entre 0.02 et 0.05 m ; en gris, zone non utile, pas d'information. Le terme "précision" est employé ici comme un indice de la précision estimée par les écarts calculés. Enfin, il convient de comparer la grille RAF18b à celle en usage ces dernières

années, à savoir la grille RAF09. L'utilisateur averti aura sans doute vu passer durant l'année 2020 une autre grille nommée RAF18. Nous n'en parlons volontairement pas ici, car d'une part sa durée de vie n'a été que d'un an et que, d'autre part, ses écarts à RAF18b sont au plus de l'ordre du centimètre, donc peu significatifs. Pour cela, nous déterminons, pour les points de contrôle exprimés dans la référence RGF93V2, leurs écarts bruts à la grille

RAF09. Nous calculons ensuite, pour ces mêmes points exprimés en RGF93V2b, leurs écarts bruts à la grille RAF18b. Les résultats statistiques sont donnés dans le tableau 2, où "e" désigne la valeur absolue de l'écart entre l'observation et les deux modèles testés.

- À la lecture de ces résultats, on constate :
- un gain d'environ 1 cm sur l'écart-type, donc sur la précision à 1 sigma,
 - une nette diminution des valeurs minimales et maximales des écarts entre observations et modèle,
 - une forte augmentation du nombre des points à écart faible,
 - la disparition des points à écart important.

On peut donc annoncer qu'en passant de la grille RAF09 (compatible RGF93V2) à RAF18b (compatible RGF93V2b), nous avons amélioré la précision de l'accès par GNSS à la référence verticale pour la France continentale de 1 cm à 1 sigma.

Pour terminer, la carte des écarts entre la grille RAF18b et la grille RAF09 est en figure 5. ●

Lien de téléchargement de la grille et explications associées sur le site de l'IGN.

<https://geodesie.ign.fr/index.php?page=grilles>

Contact

François L'ÉCU

Chef de l'équipe produits Géodésie du SGM, Institut national de l'information géographique et forestière
francois.lecu@ign.fr

	Écarts bruts à RAF09	Écarts bruts à RAF18b
Moyenne	-0.003m	0.001 m
Écart-type	0.020 m	0.011 m
Valeur minimale	-0.109 m	-0.029 m
Valeur maximale	0.181 m	0.029 m
Points avec : $0 \leq e \leq 1$ cm	2892, soit 50.49 %	3892, soit 67.95 %
Points avec : $1 \text{ cm} < e \leq 2$ cm	1522, soit 26.57 %	1472, soit 25.7 %
Points avec : $2 \text{ cm} < e \leq 3$ cm	789, soit 13.77 %	364, soit 6.35 %
Points avec : $e > 3$ cm	525, soit 9.17 %	0, soit 0 %

Tableau 2. Écarts des points de contrôle aux différentes grilles RAF09 et RAF18b.

ABSTRACT

After the publication of ITRF2014 and IGS14 reference frame, the SGM reprocessed the GNSS data from the RGP stations and published on January 5, 2021 a new set of coordinates in the geometric reference frame RGF93, the RGF93V2b aligned with the ETRF2000 epoch 2019.0. The new RAF18b altimetric conversion grid, associated with this RGF93V2b reference frame and defined in this paper, allows the conversion from ellipsoidal heights to NGF-IGN69 altitudes.