

Mission de géodésie, nivellement et gravimétrie à Wallis et Futuna

Frédéric LHERMITTE - Renaud DEGOY - Thomas DONAL

Le service de géodésie et de métrologie de l'IGN s'est vu confier une mission à Wallis

et Futuna dont les objectifs étaient d'étendre les réseaux de géodésie et nivellement, de créer un réseau gravimétrique, d'élaborer une grille de conversion entre hauteurs ellipsoïdales et altitudes, de rattacher les marégraphes au réseau de nivellement dans le cadre de SONEL, de remplacer l'antenne Doris et de faire le rattachement topométrique avec la station Regina (d'acronyme FTNA).

MOTS-CLÉS

IGN, géodésie, nivellement, gravimétrie, Regina, Wallis, Futuna



Figure 2. Réseaux de géodésie et nivellement 1996 à Wallis et Futuna (DITT).

Le départ de la mission prévue en 2020 ne se fera que mi-2022 pour raisons sanitaires dues à la pandémie COVID-19. Cela fait rêver, une mission à Wallis et Futuna, mais mener une mission, si loin, dans un endroit si isolé, il faut bien la préparer et ne rien oublier. Le travail accompli prouve que ce n'était pas des vacances. Rappelons ici que Wallis et Futuna est une collectivité d'Outremer française, constituée des îles Wallis, Futuna et

Alofi ainsi que de nombreux rochers ; 230 km séparent Wallis et Futuna, tandis qu'Alofi est à 2 km de Futuna. Ces îles sont situées en plein océan Pacifique à environ 2 000 km au nord-est de la Nouvelle-Calédonie et 16 000 km de la métropole (figure 1). Le décalage horaire par rapport à Paris est de 10 heures en été et 11 heures en hiver. Les superficies cumulées des trois îles



font environ 140 km² et 13 500 habitants y vivent.

La DITT (Direction des infrastructures, de la topographie et des transports terrestres de Nouvelle-Calédonie) avait, en 1996 et 1997, initié des réseaux de nivellement et de géodésie avec 23,8 km de nivellement à Wallis et 21,3 km à Futuna, ainsi que 22 points géodésiques à Wallis et 17 à Futuna. La visite en 2022 de ces réseaux a permis de constater que, pour les réseaux de nivellement sur les 27 repères de Wallis et 24 de Futuna,



Figure 1. Situation de Wallis et Futuna.



respectivement 21 et 17 sont retrouvés en bon état, les autres étant soit détruits soit non retrouvés tandis que 19 points géodésiques à Wallis et 14 à Futuna furent trouvés en bon état.

On voit sur la *figure 2* que ces réseaux ont été implantés dans les zones les plus peuplées et ne couvrent pas tout le territoire.

Pour la mission 2022, la dizaine de caisses de matériel technique (750 kg) part par voie maritime du port du Havre le 1^{er} avril 2022 et n'arrivera à bon port que mi-juillet, date à laquelle des opérateurs pourront enfin se rendre à Wallis. Les opérations de terrain dureront environ trois mois et cinq opérateurs y participeront durant des périodes variables. Le matériel de construction, les véhicules de transport (voitures, bateaux) seront trouvés sur place, ce qui ne fut pas forcément aisé.

Le nivellement 2022

■ Wallis

L'île de Wallis ayant un relief peu élevé et peu accidenté, les géomètres de l'IGN ont pu, en 2022, établir un réseau de 1^{er} ordre qui fait le tour de l'île et cinq mailles de 2^e ordre comportant 135 repères reprenant les repères de 1996 en bon état et des repères SHOM (*figure 3*). En tout, 88 km de nivellement pour une dénivelée totale de 1 543 m ont été observés. Deux types de repères ont été utilisés pour les 95 points nouveaux : repère conique et médaillon de type M (*photo 1*).



Figure 3. Wallis : réseaux de nivellement 2022.



Photo 1. Types de repères de nivellement posés.

Les observations ont été faites au niveau numérique Trimble DINI avec mires à code-barre, le nivellement en antenne est observé en aller et retour.

Les fermetures des boucles donnent :

WL : - 0,9 mm

W.ad - W.bc : +4,3 mm

W.cd : -1,8 mm

W.ae - W.ab : -1,1 mm

W.be : +0,9 mm

La comparaison avec les résultats de 1996 permet de sélectionner neuf repères pour la stabilité. Le réseau entier est compensé pour déterminer toutes les autres altitudes dans le système de référence altimétrique NGWF Wallis (MOP 1996).

En moyenne, l'écart entre les altitudes 1996 et 2022 est 2,5 mm, pour deux repères l'écart dépasse le cm.

Les trois marégraphes SHOM de Wallis furent nivelés en reprenant des repères anciens, en remplaçant des repères détruits et en en ajoutant quelques-uns :

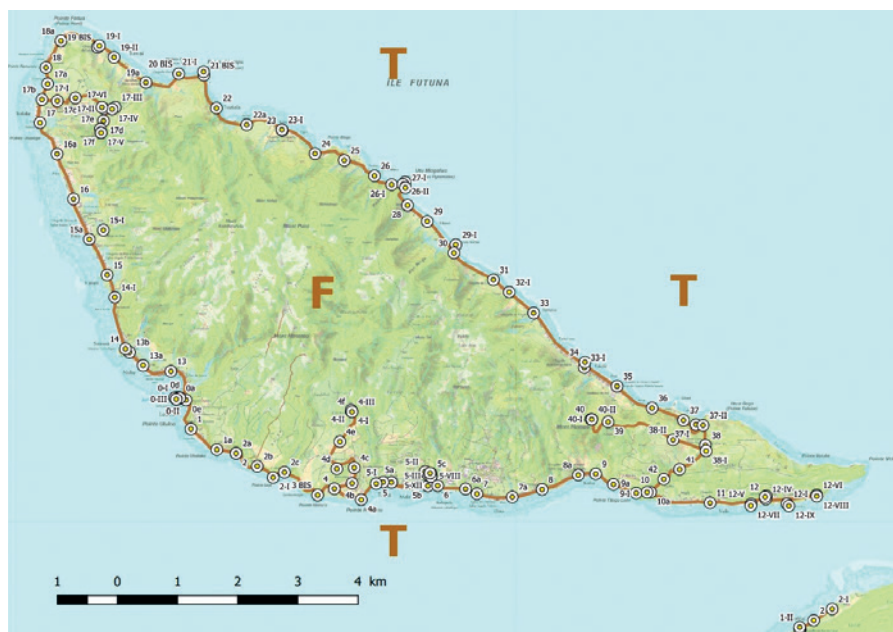


Figure 4. Futuna : réseau de nivellement 2022 et 135 repères.

Mata-Utu (10 repères), Vailala (3 repères), Halolo (3 repères).

Les zéros de réduction des sondes ont été nivelés.

Les huit repères du réseau de nivellement sur l'aéroport de Hihifo furent complétés par le nivellement de 56 vis scellées en bordure de pistes.

■ Futuna

L'île de Futuna est plus haute (point culminant à 520 m) et beaucoup plus accidentée que Wallis, ce qui rend plus difficiles les opérations de nivellement vers l'intérieur des terres. Seule une boucle de 1^{er} ordre a été faite sur le pourtour extérieur de l'île, complétée par des cheminements en antenne montant le plus haut possible (jusqu'à 300 m). La situation est de plus compliquée par l'effondrement sur 1,2 km de la route au passage de la pointe des Pyramides depuis 2010 suite à un cyclone (*photo 3*).



Photo 2. Futuna : accès vers l'intérieur de l'île.

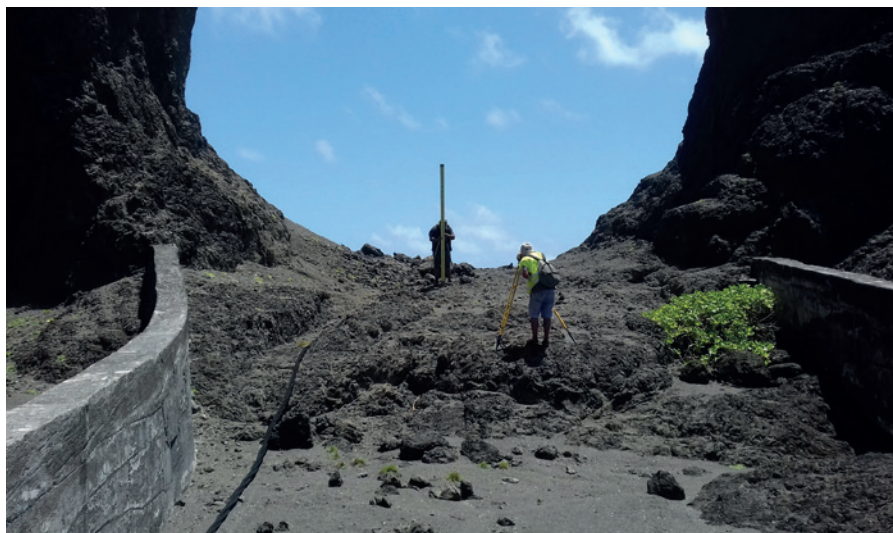


Photo 3. Futuna : passage de la pointe des Pyramides.



Photo 4. Futuna : côte nord-est (avec le village de Poi).

En tout, 135 repères sont nivelés (dont 23 existants), soit 60 km de nivellement et une dénivellée totale de 1 800 m.

La fermeture de la boucle est égale à 29 mm. Trois repères anciens servent à la stabilité et la différence moyenne d'altitudes entre 1996 et 2022 est de 15 mm. L'île semble avoir basculé dans la direction est-ouest d'environ 4 cm en 30 ans ce qui n'a rien d'étonnant vu la proximité de l'île avec la limite de la plaque tectonique.

Une extension du système altimétrique de Futuna jusqu'à l'île d'Alofi fut établie avec un tachéomètre Trimble S6 à Futuna et un théodolite T2 Wild à Alofi par des mesures zénithales réciproques simultanées. Pour garantir le succès de l'opération, 29 mesures furent

effectuées, dont 13 en fin de matinée et les autres dans l'après-midi. La distance a pu être mesurée sur un seul prisme Leica GPH1P.

Six repères ont été nivelés au marégraphe de Léava ainsi que l'ARP (Antenna Reference Point) de l'antenne de la station permanente.

La géodésie en 2022

■ Wallis

41 points géodésiques sont observés en 2022 dont 19 points en bon état de 1996, avec des récepteurs GNSS Trimble R9S et des antennes Leica AT504.

Une station permanente SHOM existe au marégraphe de Mata-Utu et une station semi-permanente a été installée pour la mission.

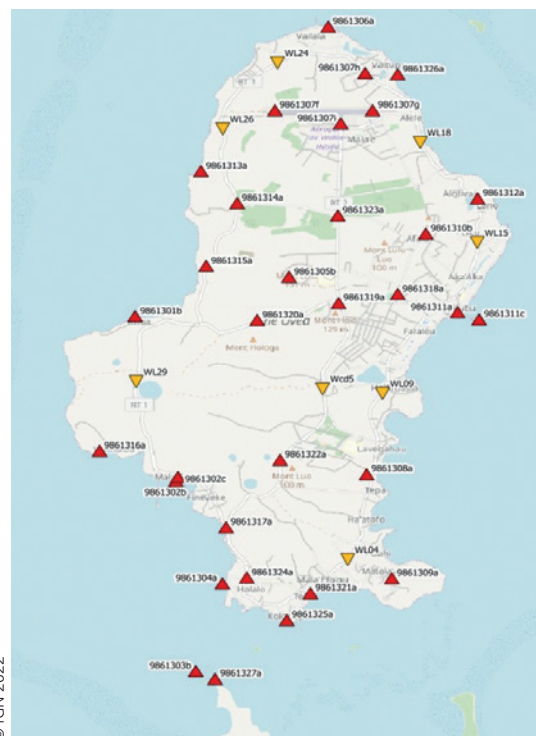


Figure 5. Wallis : les 41 stations GNSS : 32 points géodésiques observés en 2022 en rouge et 9 stations nivelées et mesurées en GNSS sans matérialisation en jaune.



Photo 5. Antenne Leica AT504 équipée d'un cylindre à code-barre.



Photo 6. Nivellement d'un point géodésique.



Figure 6. Futuna, les 38 stations GNSS : 31 points géodésiques observés en 2022 en rouge et 7 stations nivelées et mesurées en GNSS sans matérialisation en jaune.

La méthode d'observation est celle de la statique géodésique avec des sessions de plusieurs heures à trois récepteurs : les récepteurs sont en observation pendant que les opérateurs observent le nivellement.

Tous les points géodésiques ont été rattachés au réseau de nivellement et 9 stations GNSS nivelées ont été utilisées pour la détermination de la grille de conversion de hauteurs altimétriques.

Futuna

31 points géodésiques, dont 9 points de 1996, sont observés en 2022. Deux stations permanentes sont installées sur Futuna, une station SHOM au marégraphe de Leava et une station du réseau REGINA (voir encadré) qui est aussi une station IGS.

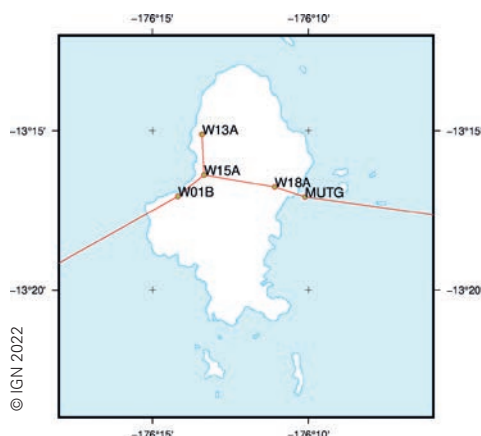


Figure 7. Lignes de bases calculées pour une session (IGN 2023).

Malheureusement, l'antenne au marégraphe a donné des observations de mauvaise qualité à cause de containers à proximité.

Les points géodésiques ont été nivelés et sept stations non matérialisées ont été observées en GNSS et nivellement de précision.

Calculs de la géodésie

Le réseau est calculé d'un bloc mêlant les stations permanentes, semi-permanentes et les observations des points géodésiques par session journalière avec une stratégie shortest+QIF du logiciel Bernese 5.2.

Le calcul est effectué dans le système IGS14/ITRF2014 à l'époque des observations à l'aide de 10 stations de l'IGS. Puis, pour chaque île, une transformation d'Helmert à sept paramètres sur les points anciens permet de calculer les coordonnées de tous les points dans le système RGWF96.

Gravimétrie

L'IGN a, dans le cadre du décret n° 2011-1037 du 27 octobre 2011 pour mission de "concevoir et de constituer une infrastructure géodésique cohérente avec les systèmes internationaux, et d'assurer la gestion du système national géographique, gravimétrique et altimétrique."

Après avoir réalisé, entre 2000 et 2012, une première version du réseau de référence gravimétrique en métropole, qui est complétée d'année en année ; des mesures ont été effectuées en Guadeloupe en 2013, en Martinique en 2014, en Guyane en 2015, à la Réunion et à Mayotte en 2016, à Saint-Pierre-et-Miquelon en 2018, à Saint-Martin et Saint-Barthélemy en 2019 afin d'établir les réseaux de référence gravimétriques respectifs de ces territoires. Certains des travaux réalisés lors de la mission de 2022 ont permis d'établir les réseaux de référence pour Wallis et pour Futuna.

La pesanteur absolue a été mesurée avec un gravimètre Micro-g LaCoste A10 et les mesures relatives avec un gravimètre relatif Scintrex de type CG-5.

À Wallis, trois points géodésiques ont été observés en gravimétrie absolue avec un gravimètre A10 et reliés par des cheminements de gravimétrie relative avec un CG-5 en aller et retour. Des mesures de gradients ont été aussi pratiquées.

La compensation des cheminements donne un écart type de 0,003 mgal.

À Futuna, des mesures de gravimétrie absolue ont été observées sur trois points géodésiques.



Figure 8. Wallis : gravimétrie.



© IGN 2022

Figure 8. Futuna : gravimétrie.

Diffusion

Les fiches des repères de nivellement et des points géodésiques sont accessibles sur le site <https://geodesie.ign.fr/> fiches en choisissant l'île dans l'onglet territoire.

Pour chaque île, une grille de conversion altimétrique est fabriquée par adaptation d'un géoïde global aux points GNSS nivelés.

Enfin, une nouvelle version du logiciel CIRCE permettra de référencer tous travaux de topographie dans les bons systèmes de référence, y compris avec du GNSS PPP en transformant des coordonnées ITRF à l'époque des observations dans les systèmes RGWF et NGWF.

Rattachement métrologique sur le site de géodésie spatiale de Futuna

Lors de la mission géodésique, une opération particulière a eu lieu sur le site de géodésie spatiale à Futuna. L'île est en effet équipée d'une station DORIS colocalisée avec une station (voir encadré) GNSS appartenant au réseau REGINA. Ces deux techniques de géodésie spatiale participent à la réalisation de l'ITRF, le repère international de référence terrestre. Pour rappel, deux autres techniques sont également impliquées dans les réalisations de l'ITRF : le SLR (télémétrie laser sur satellite) et le VLBI (interférométrie à très longue base). Chacune de ces quatre techniques de géodésie spatiale fournit des coordonnées dans des référentiels qui ne sont pas confondus.

LE RÉSEAU REGINA

Le Réseau GNSS pour l'IGS et la Navigation est issu d'une collaboration entre le CNES et l'IGN (service de géodésie et métrologie) mise en place en 2012, avec pour objectifs de se doter d'une infrastructure mondiale et indépendante de stations permanentes répondant aux besoins des deux organismes et de contribuer aux activités scientifiques liées au GNSS, notamment en géodésie, au travers de l'*International GNSS Service* (IGS). Les sites sont choisis de façon à obtenir une couverture mondiale homogène et à garantir que chaque satellite GNSS soit suivi par au moins six stations REGINA à chaque instant. La colocalisation avec d'autres techniques de mesure (DORIS, VLBI, SLR) est également recherchée afin de participer à la réalisation du système de référence terrestre international (ITRS).

Stations du réseau REGINA



© IGN / CNES 2022

L'infrastructure du réseau est constituée à ce jour de 39 stations GNSS, toutes équipées de récepteurs de dernière génération capables d'acquies les signaux en provenance de tous les systèmes de navigation (en particulier GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU et les différents systèmes d'augmentation). Les évolutions récentes et en cours sur le plan matériel permettent l'acquisition des nouvelles fréquences GNSS, en particulier les signaux Galileo E6. Grâce à la qualité des installations et à la bonne collaboration avec les organismes hôtes, le taux de disponibilité globale sur l'année 2022 est supérieur à 99 % tant pour les flux de données en temps réel que pour les fichiers d'observations en temps différé au format RINEX.

Le CNES et l'IGN étudient la possibilité d'étendre le réseau : des sites au Mexique, en Inde et sur l'île de Pâques (Chili) sont envisagés, et une station va être installée à l'été 2023 sur l'île de Gavdos en Grèce, conjointement à une station DORIS sur un site de l'ESA utilisé pour la calibration des satellites d'altimétrie radar.

Pour en savoir plus : <https://regina.cnes.fr/fr#>



© IGN 2022

Photo 7. Futuna : Station permanente REGINA et balise Doris.

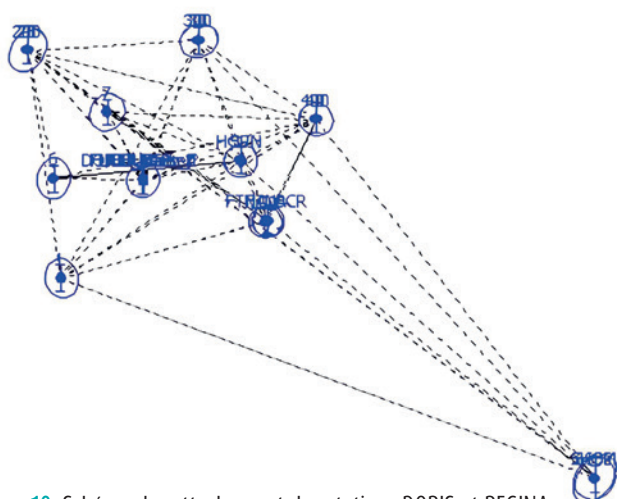


Figure 10. Schéma du rattachement des stations DORIS et REGINA.



L'objectif est donc de combiner tous ces référentiels pour en construire un seul homogène, celui de l'ITRF. Et cette combinaison passe par le rattachement entre ces techniques. C'est cette opération spéciale qui a eu lieu au lieu-dit du Maopopo, sur le site de Météo-France qui abrite donc une antenne DORIS et une antenne GNSS. Concrètement, il s'agit de déterminer la position relative des points de référence de chaque antenne entre-elles. Cette détermination est opérée par un rattachement topométrique de précision.

Autour de ces deux antennes, plusieurs trépieds ont été déployés pour former une figure de triangulation à la géométrie robuste. Un tachéomètre de précision mesure des angles et des distances depuis ces trépieds et les antennes où la position des points de référence est obtenue par intersection. Des mesures de nivellement direct sont également ajoutées. La surabondance des observations est ensuite

traitée et compensée par la méthode des moindres carrés.

Les résultats de précision millimétrique seront alors utilisés pour la prochaine réalisation de l'ITRF.

En parallèle de sa mission de service public, l'IGN contribue également aux activités géodésiques mondiales.

Conclusion

Voilà maintenant ce petit territoire français de l'autre bout du monde bien équipé géodésiquement parlant. Ceci devrait faciliter les travaux ultérieurs comme la reconstruction de la route ou une cartographie à jour. La présence de métropolitains venus faire des travaux a été bien appréciée par les autorités autochtones dont le soutien a été important ainsi que la population, qui a été très accueillante pour les opérateurs.

Les travaux géodésiques ont été présentés le 22 août 2022 aux rois et ministres des deux royaumes. ●

Contacts

Frédéric LHERMITTE, géomètre au service de géodésie et de métrologie de l'IGN, Frederic.Lhermitte@ign.fr

Renaud DEGOY, géomètre au service de géodésie et de métrologie de l'IGN, Renaud.Degoy@ign.fr

Thomas DONAL, ingénieur au service de géodésie et de métrologie de l'IGN, Thomas.Donal@ign.fr

Référence

Frédéric Lhermitte, Renaud Degoy [2023] *Géodésie, nivellement, gravimétrie pour la détermination d'une grille de conversion altimétrique à Wallis et Futuna 2022*, IGN/SGM 600828660-01

ABSTRACT

The geodesy and metrology department of French Geographical Institute (IGN) was entrusted with a mission in Wallis and Futuna, the objectives of which were to extend the geodetic and levelling networks, to create a gravimetric network, to draw up a conversion grid between ellipsoidal height and altitude, to link the tide gauges to the levelling network as part of SONEL project, to replace the Doris antenna and to make the topometric link with the REGINA station (FTNA). This project, object of this paper, was carried out over three months in 2022.

© IGN 2022



Photo 8. Vue du rattachement.