

Projet de réalisation d'un Observatoire géodésique fondamental à Tahiti

Richard Biancale (CNES), Jean-Pierre Barriot (OGT/UPF), Pierre Exertier (OCA)

Le contexte

La géographie

La Polynésie française occupe une superficie de 5,5 millions de km² dans le Pacifique sud (soit une superficie aussi importante que celle de l'Europe). Elle est composée d'archipels qui comptent au total 118 îles hautes et atolls dont 76 seulement sont habités. L'ensemble de ces terres représente à peine 3 500 km² (soit la moitié de la superficie de la Corse). Elles sont peuplées d'environ 280 000 habitants. Papeete sur l'île de Tahiti en est la capitale administrative et territoriale.

L'Observatoire Géodésique de Tahiti (*extraits du rapport pour la reconnaissance en tant que site instrumenté de l'INSU-CNRS, J.-P. Barriot, 2014*)

L'Observatoire Géodésique de Tahiti (OGT) a été fondé en 1997 par le professeur Alain Bonneville de l'Université de la Polynésie Française (UPF) avec l'aide du CNES et de l'INSU-CNRS ainsi qu'avec le support du GRGS. Il est un site de référence géodésique fondamentale au sein de l'UPF pour la poursuite des satellites d'étude de la Terre à des fins océanographiques, géodynamiques et géophysiques grâce entre autres à l'installation d'une station de poursuite de satellites par laser MOBLAS-8 de la NASA du réseau ILRS sur le campus de l'Université de la Polynésie française (UPF) à Outumaoro (commune de Punaauia, près de la capitale Papeete). Son directeur actuel (depuis 2006) est le professeur Jean-Pierre Barriot, ancien ingénieur du CNES.

Depuis son installation, la station laser a pu bénéficier de diverses cures de jouvence récentes (2011-2012), grâce à l'intérêt renouvelé de la NASA pour les observations laser, par la mise à niveau d'une grande partie de l'électronique d'acquisition, du support du télescope, des visites techniques plus fréquentes et au soutien à ce jour sans faille du CNES pour la logistique annexe (changement total du système de climatisation, dalle pour la station laser mobile française, mise aux normes des armoires électriques). Elle est actuellement, malgré son âge (plus d'une trentaine d'années), en parfait état de fonctionnement. Elle s'est enrichie au fil des ans de divers équipements annexes, dont une station permanente DORIS, diverses stations GPS permanentes dont une de la NGA américaine, et depuis 2006 d'un réseau de stations marégraphiques (cinq stations de qualité géodésique) et un gravimètre gPhone en 2007 sur financement UPF et CNES. A noter que l'OGT héberge aussi, depuis 2011, une station GPS permanente du DLR et, depuis 2009, deux stations GPS permanentes fournies gracieusement par la société TRIMBLE. Une station Beidou chinoise a enrichi le parc en 2014.

En tout l'OGT fournit des données à cinq services internationaux relevant de l'Association Internationale de Géodésie (IAG) :

- ILRS (International Laser Ranging Service),
- IGS (International GNSS Service),
- IDS (International DORIS Service),
- PSMSL (Permanent Service for Mean Sea Level),
- ICET / GGP (International Center for Earth Tides / Global Geodynamics Project).

Les soutiens nationaux CNES, UPF, INSU-CNRS

L'OGT est une structure isolée, lointaine (19 h de vol depuis Paris), avec peu de moyens humains, et non adossée à une structure locale plus large de type OSU (Observatoire des Sciences de l'Univers). Il est régi par une Convention entre la NASA, le CNES et l'Université de la Polynésie Française qui l'accueille, et ne dispose, d'un point de vue national, que d'une seule labellisation par le ministère de l'éducation et de la recherche comme « Fédération de Recherche » (FED), sans que cette labellisation ait d'ailleurs fait l'objet d'une quelconque évaluation

En 2014, il a été labellisé par l'Institut National des Sciences de l'Univers (INSU) en tant que site instrumenté, pour lui donner une meilleure visibilité à la fois nationale et internationale.

Le fonctionnement

L'OGT a fonctionné de 1997 à 2011 sous un double chapeau : celui de la Convention CNES-NASA-UPF de gestion de la station laser et celui d'un plan pluri-formation (PPF) reconnu par le MENRT. En janvier 2012, l'Université de la Polynésie française a redémarré pour un nouveau contrat quinquennal (2012-2016). D'autre part, l'autonomie financière de l'UPF (la dernière université française à passer à ce régime) a été effective au 1er janvier 2013. Deux techniciens de l'OGT ont leurs salaires directement payés par l'UPF et un technicien a son salaire financé par le CNES.

L'université estime maintenant qu'elle contribue à hauteur de 60 % au fonctionnement de l'OGT (techniciens + fluides + support général), et souhaite voir sa quote-part réduite à 30 %.

Il y a un risque très réel d'un redéploiement de ces deux postes en fonction des objectifs de recherche définis par les instances de l'université.

Les OGF

Le site de l'OGT actuel, situé en surplomb de la présidence de l'UPF, comprend un bâtiment de recherche et d'abri des équipements géodésiques en équerre avec les deux remorques de la station MOBLAS-8 américaine. L'exiguïté du terrain ainsi que l'environnement électromagnétique ne permet pas l'installation d'une antenne VLBI (Very Long Baseline Interferometry) qui doit compléter la panoplie des équipements d'un Observatoire Géodésique Fondamental (OGF). C'est pourquoi un autre site plus dégagé et isolé est requis pour cette installation.

Un OGF qui regroupe à Tahiti les quatre techniques fondamentales de géodésie spatiale (DORIS, GNSS, SLR, VLBI) trouve sa justification dans le complément au réseau mondial d'OGF que différentes instances nationales ou internationales recommandent.

Au niveau national, le *Bureau des longitudes* a publié en 2009 dans son ouvrage *les Observatoires* : « il est recommandé que le **concept d'observatoire géodésique fondamental** soit désormais **reconnu par les instances compétentes** telles que l'INSU et le CNES. L'effort entrepris à l'Observatoire de la Côte d'Azur à Grasse au plateau de Calern, avec son extension en Corse pour l'étalonnage des données altimétriques et l'effort entrepris à l'Observatoire Géodésique de Tahiti (OGT) doit être poursuivi de manière pérenne. »

Au niveau international, l'Association Internationale de Géodésie (IAG) recommande dans le rapport GGOS 2007 que : « an **operational core system be built up and maintained** with the necessary infrastructure for an operational geodetic Earth system service providing quantitative information on changes in ice sheets, sea level, water cycle, and climate, as well as for hazards, disasters, and resource management application... »

Le *National Research Council* (NRC) américain recommande dans son rapport de 2010 : « in the long term, **the United States should deploy additional stations** to complement and increase the density of the international geodetic network, in a cooperative effort with its international partners, with a goal of reaching a global geodetic network of at least **24 fundamental stations**. The United States, through the relevant federal agencies, should make a long-term commitment to maintain the International Terrestrial Reference Frame (ITRF) to ensure its continuity and stability. This commitment would provide a foundation for Earth system science, studies of global change, and a variety of societal and commercial applications. »

Le GRGS mentionne en 2012 dans son rapport sur les *Observatoires géodésiques fondamentaux* : « les quantifications sur le long terme ne sont cependant possibles que par l'établissement de références absolues obtenues par recoupement et complétion de plusieurs techniques géodésiques, ce qui se réalise au mieux par une concentration en **Observatoires Fondamentaux pérennes bien répartis sur le globe**. »

Enfin, l'*Assemblée générale de l'ONU* tenue le 18 janvier 2015 invite les Etats membres, par son rapport sur le *repère de référence géodésique pour le développement durable* « à s'engager **à renforcer et à maintenir les infrastructures géodésiques nationales**, celles-ci étant indispensables à l'amélioration du repère de référence géodésique mondial », ainsi qu'à « mettre en place une **coopération multilatérale** qui permette de **remédier au manque d'infrastructures** et d'éviter les chevauchements d'activité en ce qui concerne l'élaboration d'un repère de référence géodésique mondial plus viable à long terme. »

Les explications des enjeux scientifiques et sociétaux sont à retrouver dans les documents mentionnés.

Documents en annexe : Rapport Bdl, 2009 ; Rapport GGOS, 2007 ; Rapport NRC, 2010 ; Rapport OGF/GRGS, 2012 ; Rapport ONU, 2015

Le VLBI

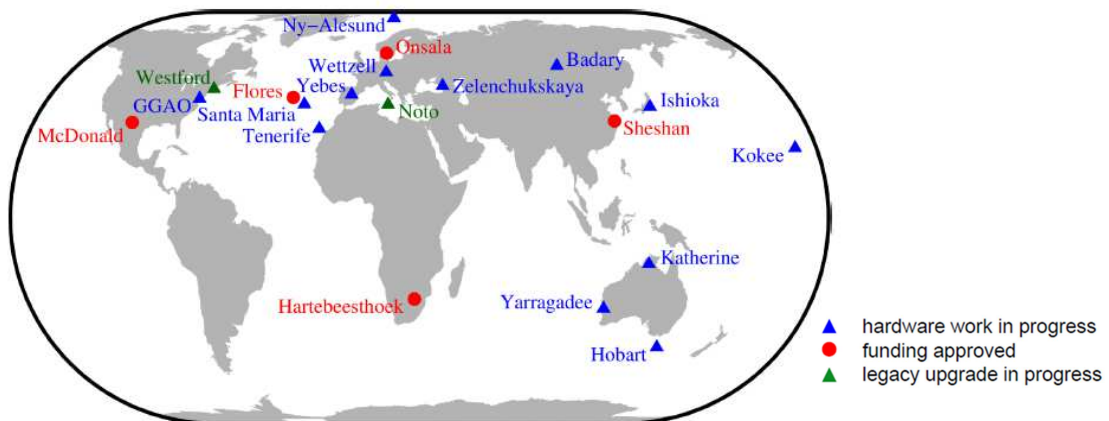
L'organisation internationale

La technique géodésique VLBI émane du milieu des années 60 et est devenue opérationnelle au début des années 80. Cela s'est fait par l'utilisation partagée avec l'astrophysique de grandes antennes paraboliques. Pour les besoins de la géodésie, des sessions d'observation conjointes entre une vingtaine d'antennes et étalées sur 24h (appelée R1, R4) ont été aménagées sur deux périodes de la semaine (les lundis-mardis et jeudis-vendredis). Plus récemment, des sessions horaires pour le suivi de la rotation de la Terre regroupant quelques bases de l'hémisphère nord (Kokee – Wettzell – Tsukuba - Ny Alesund) ont été programmées. De plus, des campagnes d'observation plus denses de l'ordre de deux semaines sont organisées périodiquement (CONT2008, CONT2011, CONT2014). Depuis 1999, toutes ces sessions sont planifiées dans le cadre de l'International VLBI Service (IVS).

La technique VLBI est fondamentale pour le positionnement terrestre et orbital. Elle est la seule qui permette de relier le système céleste (CRF) au système terrestre (TRF) au niveau sub-centimétrique et qui renseigne sur les fluctuations de rotation de la Terre à mieux que la microseconde d'arc. Cette technique requiert une coopération internationale du seul fait qu'elle fournit une information relative de temps de trajet des ondes émises par les centres galactiques ou quasars (entre 2 et 14 GHz) entre des couples de stations. Les données obligatoirement concomitantes sont transmises aux centres de corrélations. La communauté géodésique du VLBI s'est donc structurée depuis 1999 au sein de l'IVS en différents centres (d'analyse, de coordination, d'opérations, de données...). Le rôle général de cette structure est de pourvoir un service en soutien aux activités de recherche (géodésique, astrométrique ou géophysique) et opérationnelles du système ainsi que de promouvoir la recherche et le développement de la technique.

Le réseau d'antennes géodésiques

L'IVS a depuis joué un rôle important pour améliorer l'observabilité jusqu'à présent éparses. Ainsi un nouveau réseau d'antennes plus petites (de l'ordre de 12 m), mais plus maniables, est en train de se monter pour une observation géodésique continue. Ce réseau dénommé VGOS (VLBI Global Observing System) se constitue d'antennes de 12 à 13 m avec des montures permettant des déplacements rapides (6 à 12°/s) et observant en spectre large (2 à 14 GHz). A l'instar de l'Allemagne, l'Espagne et le Portugal, la Russie, la Norvège, la Suède, le Japon, l'Australie, l'Afrique du Sud ..., la NASA a engagé la construction d'antennes VLBI2010 dont un prototype est installé à la station GGAO (Goddard Geophysical and Astronomical Observatory). Il est prévu qu'elle mette en service en 2016 celle de Kokee à Hawaï, puis celle de Mc Donald au Texas en 2017.



Etat du déploiement du réseau VGOS (Source NASA)

La cartographie des sites VLBI montre un déficit dans l'hémisphère sud avec un trou notable dans le Pacifique sud. C'est pourquoi la NASA est prête à mettre une antenne VLBI2010 sur l'île de Tahiti, et cela dès 2018 après l'installation des 3 premières antennes sur le territoire des Etats-Unis (à Greenbelt/Maryland, Kokee/Hawaï et Mc Donald/Texas).

La communauté géodésique nationale et internationale est en attente depuis de longues années du déploiement d'une antenne dans le Pacifique Sud. Plusieurs études ont été réalisées pour démontrer et quantifier l'impact d'une telle occupation. Il est évalué à un gain de précision de l'ordre de 10 à 25% selon le réseau considéré (Mc Millan, 2010).

Pour répondre à ce besoin, le CNES et la NASA, en tant qu'organismes d'exécution, ont envisagé une nouvelle coopération à travers un « implementing arrangement » signé en 2014 qui prévoit l'amélioration du système mondial d'observation géodésique (GGOS) et notamment la mise à niveau de l'Observatoire Géodésique de Tahiti avec l'ensemble des techniques géodésiques (DORIS, GNSS, SLR, VLBI).

Document en annexe : NASA-CNES implementing arrangement, 2014

Le site d'accueil

Plusieurs actions de prospective ont eu lieu sur l'île de Tahiti. Le site de l'Ifremer à Vairao a été un temps envisagé, mais le terrain s'est révélé finalement non adéquat (trop restreint et escarpé). Des contacts ont été pris par ailleurs avec le Commandement Supérieur des Forces Armées dont certains terrains vont être réformés, mais aucune suite positive n'a pu être donnée (pour cause de délai ou de droit de préemption). Finalement, le site de *Tahiti Nui Telecom* (TNT), filiale privée de l'*Office des Postes et Télécommunications* (OPT) - qui est un EPIC - a été reconnu comme le seul site satisfaisant à l'hébergement d'une antenne parabolique de réception.

Tahiti Nui Telecom

TNT possède un terrain de 85 ha dont 72 ha sur le plateau d'Atohei situé sur la commune de Papeete au nord de l'île de Tahiti. La partie envisagée sur la partie sud du plateau (17,5178°S, 149,4370°W) est constituée d'une clairière d'environ 1,5 ha en fer à cheval à une altitude moyenne de 200 m et en pente relativement constante de 13 cm/m du nord au sud.



Terrain de TNT (dans le triangle rouge)

Site prévu pour la géodésie

Le site de TNT abrite d'ores et déjà plusieurs grandes antennes fixes de télécommunications gérées par OPT. Elles sont situées à 200 m du site géodésique prévu. Orientées vers le nord, elles ne devraient pas provoquer d'interférence au sud :

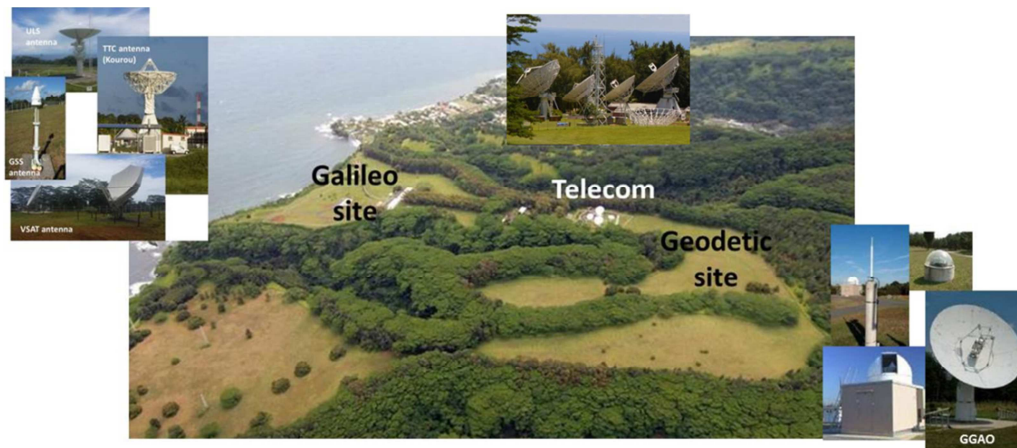
- 16 m limited motion for international satellite traffic (C-band up and downlink at 6 GHz and 4,2 GHz)
- 16,4 m for intra-Polynesian satellite traffic (C-band up and downlink at 6 GHz and 4,2 GHz)
- 11 m for Internet traffic (C-band up and downlink at 6 GHz and 4,2 GHz)
- 12 m for TV-uplink (Ku-band)

TNT héberge en outre la station de navigation et de contrôle de la constellation Galileo. Cette station, qui est éloignée de plus de 500 m du site géodésique prévu, comprend les instruments suivants :

- 3 GSS (Galileo sensor station) in L-Band (1176.450, 1207.140, 1278.750, 1575.421 MHz)
- 4 ULS (up-link station), Transmission of navigation and integrity messages in C-Band (5 GHz – 5,01 GHz)
- VSAT (Very Small Aperture Terminal), Classic Geostationary VSAT C-Band Telecommunications Operations (Transmit frequency band : 5,85 GHz – 6,425 GHz, Receive frequency band : 3,625 GHz – 4,2 GHz)
- TTC (2016), Telemetry Tracking and Command, 13 m antenna, S-band (1.55 – 5.2 GHz)

Le terrain de TNT abrite également un « data center » sécurisé de stockage et de traitement de données informatiques en partenariat avec l'entreprise hawaïenne DTFortress. Ces installations sont reliées à une ligne haute-tension de 14 400 volts et disposent de deux groupes électrogènes de secours d'une puissance de 630 kva chacun, associés à deux onduleurs avec des jeux de batteries et deux réservoirs de gazole de 18 000 litres, permettant une autonomie énergétique d'un mois.

Il est à noter que l'extrémité tahitienne du câble sous-marin à fibres optiques Honotua en provenance d'Hawaii arrive directement dans les locaux de TNT. Un autre câble à destination de la Nouvelle-Calédonie est projeté.



Vue d'avion des sites Galileo, Telecom et futur géodésique

Documents en annexe : lettres d'accord d'occupation du site de TNT, 2014 et 2015

L'implantation

L'aménagement du site impliquera certains travaux d'accès (route asphaltée, tranchée pour les câbles et fluides...), d'ériger un bâtiment à proximité des antennes pour protéger l'électronique, de clôture autour des antennes...

L'implantation d'une antenne parabolique VLBI de 12 m demande un soin de fondation similaire à ce qui a été fait pour l'antenne TTC Galileo. TNT propose d'effectuer une reconnaissance du terrain à l'identique par :

- un sondage pressiométrique profond afin de préciser les caractéristiques mécaniques des sols ;
- un sondage carotté descendu afin de permettre une visualisation et description précise du log du sol ;
- des prélèvements d'échantillons pour la réalisation d'essai triaxial de type consolidé non drainé avec mesure de la pression interstitielle afin d'estimer les caractéristiques à long terme ;
- des essais au pénétromètre donnant la résistance dynamique de pointe à la rupture en fonction de la profondeur.

A titre d'exemple, les fondations de l'antenne Galileo vont être faites par un radier de 6,4 m de côté et de 0,6 m d'épaisseur reposant sur 25 micropieux enfoncés à 11 m de profondeur.

Le site de TNT représente aujourd'hui la seule possibilité d'implantation d'antenne VLBI sur Tahiti. Il bénéficie d'un environnement privilégié en termes de géographie et de communication et son personnel est qualifié pour la maintenance telle que demandé par la NASA.

Les contacts locaux

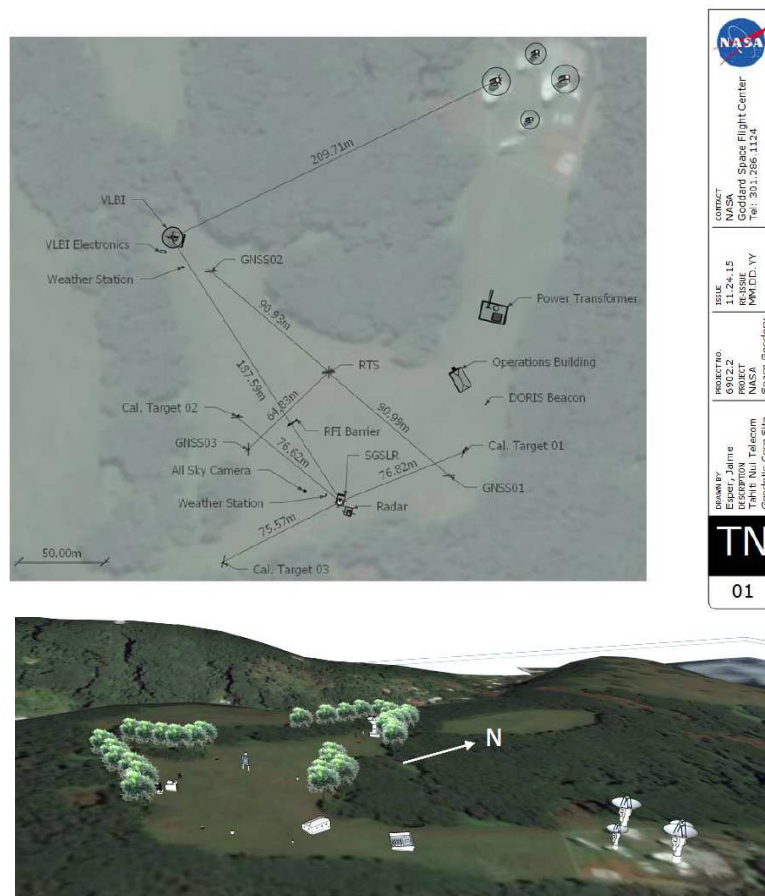
Les contacts sur place ont été pris auprès de l'ingénieur responsable du site, Clément Moune, et de Paul Dugué, le nouveau Président-Directeur général de TNT, qui a officialisé par lettre du 7 avril 2015 la possibilité d'occuper le terrain sud du site pour l'hébergement des instruments de géodésie : antenne VLBI, station Laser, balise DORIS et antennes GNSS, « à condition qu'ils ne perturbent en rien le fonctionnement des instruments déjà installés ». La réponse est également favorable à une période d'occupation a priori de 30 ans.

D'autre part, les présentations du projet faites en septembre 2015 auprès du Haut-Commissaire de la République, Lionel Beffre (standard@polynesie-francaise.pref.gouv.fr), et de la directrice de cabinet de la Présidence du Territoire, Liliana Meislin (liliana.meislin@presidence.pf), ont donné lieu à un intérêt marqué pour ce projet et à envisager une possible concertation sur une détaxation partielle des équipements importés. Ce dernier point sera toutefois à traiter avec vigilance.

La coopération NASA

En octobre 2015, une réunion à NASA/GSFC entre Richard Biancale (CNES/GRGS) et Stephen M. Merkowitz (GSFC-6902, stephen.m.merkowitz@nasa.gov), Chopo Ma (GSFC-6980, chopo.ma-1@nasa.gov), James L. Long (GSFC-2240) james.l.long@nasa.gov, Frank G. Lemoine (GSFC-6980, frank.g.lemoine@nasa.gov), Lawrence M. Hilliard (GSFC-5550, lawrence.m.hilliard@nasa.gov) a confirmé l'intention de la NASA de mettre une antenne VLBI2010 à Tahiti sur le site de TNT. Cette équipe NASA est investie pour étudier l'implantation d'une antenne VLBI2010 à Tahiti. Ce serait la quatrième après celle de

GGAO, de Kokee à Hawaï et de Mc Donald au Texas. Cette installation à Tahiti pourrait intervenir en 2018. Le GSFC a d'ores et déjà réalisé une étude d'implantation (voir ci-dessous) et propose une visite à TNT au printemps 2016 pour valider le site au niveau des interférences et pour préciser l'emplacement des instruments.



Exemple d'implantation préconisée par la NASA

Les autres instruments

Ce site est aussi destiné à recevoir les instruments des autres techniques de géodésie spatiale. Une exigence rappelée dans les recommandations GGOS et NASA est de concentrer les instruments de ces techniques dans au moins une trentaine d'Observatoires Géodésiques Fondamentaux (ou « Core sites »).

Un récepteur GNSS Regina/CNES pourrait être mis en place dès 2016 si l'emplacement des différents instruments est caractérisé et si l'infrastructure d'accueil est réalisée.

Il serait d'autre part possible d'installer provisoirement une balise DORIS pour préalablement étudier les problèmes d'interférence qu'elle pourrait générer avant d'installer une balise 4G.

La station laser actuelle MOBLAS-8 n'est pas déplaçable en l'état. Elle est de conception ancienne (1982), mais compte parmi les stations performantes en termes de précision (~6 mm). Elle est régulièrement maintenue et en partie rénovée par la NASA pour un coût non négligeable (150 k€ en 2015). Son utilisation est restreinte due au nombre limité de techniciens l'opérant (3 techniciens actuellement pour au plus 60 h d'utilisation par semaine). Une nouvelle station laser automatisée (voire télé-opérable) est à envisager dans le cadre du nouvel observatoire géodésique. Cette station est en cours d'étude à l'OCA. Elle a déjà fait l'objet d'une demande de financement et a été proposée en projet EquipEx en 2011 (projet GEOSPACE4REF, non retenu).

Documents en annexe : NASA's Next Generation Space Geodesy Network Typical Core Site Requirements and Layout, J. Esper & al, 2015 ; Proposition GOESPACE4REF, GéoAzur/OCA, 2011

La station laser de nouvelle génération

Dans la perspective GGOS qui gouverne à l'horizon 2020 l'idée des Observatoires Géodésiques à quatre techniques spatiales bien répartis sur le Globe est fondamentale pour le Spatial et l'Observation de la Terre (niveau moyen des mers). La télémétrie laser y joue un rôle essentiel. Seule technique exacte, basée sur une porteuse optique, elle a de surcroît un immense champ de progression technologique devant elle avec à la clé des précisions < 50 microns et une exactitude millimétrique.

A partir de l'EquipEx 2011, partiellement financé par le CNES, l'OCA a mené une étude R&D multiple (monture-télescope, laser et détecteurs, contrôle-commande) afin de dégager de nouvelles solutions technologiques. Elles ont été croisées avec une analyse de besoins que le GRGS a mené depuis sur le plan des modèles comme sur celui de nouvelles missions ou instruments spatiaux. L'OCA a fait un effort extrêmement important notamment poussé par l'avancé métrologique suscitée par l'instrument T2L2 sur Jason-2, et par le besoin d'associer le laser, l'Optique Adaptative et la mesure des paramètres de la turbulence atmosphérique avec les télécommunications optiques (R&T CNES 2014-2016). Un ingénieur IR-CNRS et un Astronome-adjoint du CNAP ont été recrutés.



Les grandes lignes de la R&D montrent qu'il faut pouvoir se positionner pour l'avenir avec de nouvelles technologies ; outre la sécurité, les aspects principaux à garantir sont la qualité métrologique et l'automatisation :

1. La recherche de l'exactitude millimétrique ; il s'agit essentiellement de développer la télémétrie laser haute cadence (plusieurs kHz). La télémétrie à haute cadence permet d'améliorer la qualité des données en imposant à la fois une forte cadence d'acquisition ainsi qu'un mode « simple photon » moins sujet à l'introduction de biais par les détecteurs.

La technologie des lasers a considérablement évolué depuis quelques années grâce au changement de pompage optique, passant du flash aux diodes de puissance. Ces dispositifs offrent en particulier une bien meilleure fiabilité ainsi qu'une excellente qualité de tâche, favorisant le bilan de liaison, tout en délivrant des impulsions (quelques mJoules) de durée plus brève (pour une meilleure précision) et un taux de tir allant de quelques centaines de Hz à plusieurs kHz.

Côté détecteurs, la technologie optique est maintenant au point et est disponible à des coûts raisonnables sachant de surcroît que l'OCA a largement participé à son développement et sa mise au point depuis plusieurs années.

2. Le franchissement d'une étape vers l'automatisation, conjointe à une amélioration de la fiabilité ; le nombre croissant de cibles spatiales, la réduction des effectifs, les opérations à distance grâce aux liens Internet, imposent une évolution forte vers l'automatisation des stations. En conséquence, la partie informatique temps réel a une grande importance, puisqu'elle doit assurer l'automatisation pour l'acquisition et le traitement permanents de différentes données annexes à la seule télémétrie laser obtenues à partir de capteurs locaux (ciel, météo et sécurité, prédiction des passages, diagnostics disponibles sur Web, etc.).

Les coûts

Les coûts relatifs au nouvel OGF sur le terrain de TNT se répartissent en coûts d'implantation, d'instrumentation et de fonctionnement.

Coûts d'implantation

Ces coûts concernent la location d'une partie du terrain de TNT pour les plateformes d'accueil des instruments répartis sur environ 1,5 ha (TNT a donné son accord pour un bail de 30 ans). Ils concernent également la réalisation des infrastructures d'accès et accueil des divers instruments comprenant la réalisation d'une voirie sur 100 m, l'acheminement du courant sur 800 m, les travaux de terrassements et de fondations, le gros-œuvre des plateformes d'accueil des instruments et d'un bâtiment.

TNT sera en charge de la maîtrise d'œuvre. Un devis a été fourni pour la disposition figurée ci-dessous.

Coûts d'instrumentation

L'instrumentation VLBI est fournie par la NASA sous réserve d'établir la convention de coopération. Les coûts inhérents ne concernent que la réalisation de l'infrastructure d'accueil mentionnée plus haut et le paiement des taxes, TVA et octroi de mer. Les négociations avec le gouvernement de la Polynésie Française restent à mener pour une exonération totale ou partielle.

La mise à disposition des instruments GNSS et DORIS relève du CNES dans le cadre des programmes REGINA et de renouvellement des balises DORIS par des balises 4G.

Le coût de développement le plus important est celui de la station laser de nouvelle génération instruite actuellement par l'OCA. Les contacts ont été pris avec différents laboratoires ou sociétés qui ont établi des devis. Nous pouvons donc prévoir les coûts suivants :

-	monture-télescope, avec sw de pilotage	ASTELCO	350 k€
-	laser kilo-Hz, largeur d'impulsion < 10 ps FWHM, 532 nm		300 k€
-	dateurs d'évènements, type STX	PHUSIPUS	100 k€
-	sécurité (radar ADS-B, caméra)		50 k€
-	capteurs météo		50 k€
-	guidage (caméra, emCCD)		20 k€
-	détecteurs		30 k€
-	horloge (Rubidium asservi GNSS)		15 k€
-	électronique de commande (FPGA)		20 k€
-	automatisation, softs, entrées-sorties-contrôles		100 k€
-	Ingénieurs (3 CDD)	3 ans	450 k€
-	TOTAL		1485 k€

Evolutions prévues

-	TELECOM.	PHASE 0 CNES	75 k€
---	----------	--------------	-------

Implantation station LASER à Tahiti

			300 k€
-	sondages		
-	dalle pour petite coupole (base pour un équipement de 500 kg)		
-	transport, frais de douane		
-	installation		
-	tests		

Cohérence des approches station de nouvelle génération pour : la télémétrie laser / les télécommunications optiques :

- R&D effectuée au plateau de Calern (collaboration CNES, OCA, NIST Japon) en 2015.
- Phase 0 au CNES en 2016
- totale compatibilité monture télescope, suivi cibles spatiales
- études nécessaires pour longueurs d'onde, métrologie, très hauts débits, cadence laser, etc.

Coûts de fonctionnement

Dans la mesure où les nouveaux instruments pourront fonctionner en mode automatique, seule la présence d'un personnel de première maintenance sera nécessaire. Il restera à supporter les coûts de communication par fibre optique. A titre d'exemple, les besoins en transfert de données VLBI, qui sont de loin les plus importants, sont estimés par NASA à 55 Tbyte/jour.

Annexes

1. Demande de Labellisation de Site Instrumenté de l'Observatoire Géodésique de Tahiti, 2014
2. Lettre de labellisation de l'OGT, 2014
3. Rapport Bdl 2009
4. Rapport OGF/GRGS, 2012
5. Rapport GGOS, 2007
6. Rapport NRC 2010
7. Rapport ONU, 2015
8. Implementing arrangement between NASA and CNES on Space geodesy activities and applications, 2014
9. Lettres d'accord de TNT pour l'occupation du terrain de TNT, 2014
10. Lettres d'accord de TNT pour l'occupation du terrain de TNT, 2015
11. NASA's core site requirements and layout, 2014
12. Rapport GEOSPACE4REF, 2011

Glossaire

CNAP : Conseil National des Astronomes et Physiciens
CNES : Centre National d'Etudes Spatiales
CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique
CRF : Celestial Reference Frame
CONT : Continuous VLBI campaign
DLR : Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
DORIS : Doppler Orbitography and Positioning Integrated by Satellite
EPIC : Etablissement Public à Caractère Industriel et Commercial
EquipEx : Equipements d'Excellence de l'Agence Nationale de la Recherche (ANR)
GGAO: Goddard Geophysical and Astronomical Observatory
GGOS: Global Geodetic Observing System
GGP: Global Geodynamics Project, nouvellement IGETS
GNSS: Global Navigation Satellite System
GPS: Global Positioning System
GRGS: Groupe de Recherche de Géodésie Spatiale
GSFC : Goddard Space Flight Center
IAG: International Association of Geodesy
ICET: International Center for Earth Tides, nouvellement IGETS
IDS: International DORIS Service
IGETS: International Geodynamics and Earth Tide Service
IGS: International GNSS Service
IVS : International VLBI Service
ILRS : International Laser Ranging Service
INSU-CNRS : Institut National des Sciences de l'Univers du Centre National de la Recherche Scientifique
MENRT : Ministère de l'Education Nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche
MOBLAS : Mobile Laser station
NASA : National Aeronautics and Space and Administration
NGA : National Geospatial-Intelligence Agency
NRC : National Research Council
OCA : Observatoire de la Côte d'Azur
OGF : Observatoire Géodésique Fondamental
OGT : Observatoire Géodésique de Tahiti
OPT : Office des Postes et Télécommunications de Polynésie Française
OSU : Observatoire des Sciences de l'Univers
PSMSL : Permanent Service for Mean Sea Level
Regina : REseau GNSS pour l'IGS et la NAVigation
SLR : Satellite Laser Ranging
TNT : Tahiti Nui Telecom
TRF: Terrestrial Reference Frame
TTC : Telemetry, Tracking and Command
T2L2: Transfert de Temps par Lien Laser
UPF : Université de la Polynésie Française
VGOS : VLBI Global Observing System
VLBI : Very Long Baseline Interferometry