

RÉSEAU DE MARÉGRAPHES DANS LE PACIFIQUE

par Serge Lannuzel (1)

RÉSUMÉ

Ces dernières années encore, de nombreux séismes ont déclenché des tsunamis dans le Pacifique. Aussi, l'État veille à améliorer le dispositif d'alerte et de surveillance du risque tsunami qui reste prégnant dans la région (prévention des populations, organisation de l'alerte, installation de sirènes et de marégraphes).

Sollicité par les services de l'État, le Service hydrographique et océanographique de la marine a été chargé d'installer en Nouvelle-Calédonie, à Wallis et Futuna, ainsi qu'en Polynésie française des marégraphes dont les données sont transmises en temps réel aux centres d'alerte tsunami dans le Pacifique.

Cet article rend compte de l'avancement des opérations menées par le SHOM entre 2007 et 2010 : reconnaissance de sites, spécifications des stations marégraphiques et des abris, installations après standardisation des travaux à réaliser, définition des travaux de maintien en condition opérationnelle (MCO). Les installations seront poursuivies au-delà de cette période.

Le financement du MCO du réseau de marégraphes pour l'entretien et la confirmation métrologique des équipements installés restait à finaliser fin 2010. Ces systèmes s'insèrent pleinement dans le dispositif global de sécurité civile et de prévention des risques, y compris pour les autres États du Pacifique.

ABSTRACT

Many earthquakes have triggered tsunamis in the Pacific in recent years. Accordingly, France seeks to improve the tsunami warning and monitoring system because that risk remains prominent in the Pacific region (alert organization, installation of sirens and tide gauges).

As requested by French administrations, the French Hydrographic and Oceanographic Service (SHOM) has been responsible for the installation of tide gauges in New Caledonia, Wallis and Futuna, and French Polynesia. Data from these tide gauges is transmitted in real time to tsunami warning centers in the Pacific.

This report describes how the operations conducted by SHOM have progressed from 2007 to the end of 2010 : surveying of sites, specification of tide stations and shelters, installations following standard procedures, definition of a maintenance program. Tide gauges facilities will continue to be installed after 2010.

Such investments should be sustained by setting up the maintenance of the tide gauges network, in order to maintain and check installed equipments, which are fully inserted in the global system of civil protection and risk prevention, including other Pacific nations.

(1) Ingénieur principal des études et techniques de l'armement (IPETA)
Division « Plans » de la direction de la stratégie, de la planification et des relations extérieurs (DSPRE)
SHOM, 13 rue du Chatellier, CS 92803, 29228 Brest Cedex 2, France
(Mél : serge.lannuzel@shom.fr)

1. PRÉSENTATION

1.1 Introduction

Le Service hydrographique et océanographique de la marine (SHOM) observe depuis plusieurs dizaines d'années le niveau de la mer dans le Pacifique, d'abord pour ramener les levés bathymétriques à une référence stable, le zéro hydrographique ou zéro des cartes marines¹, ensuite pour prédire la marée ou définir des niveaux de références (plus basses mers astronomiques et plus hautes mers astronomiques notamment). A ce titre, le SHOM a régulièrement installé de nombreux observatoires de marée, souvent de manière temporaire mais aussi parfois de façon permanente. Par ailleurs, le SHOM est responsable de la mise en place du zéro hydrographique comme référence altimétrique pour les hauteurs d'eau, et exploite toute donnée de marée au titre de référent national (instruction n° 863 SGMER du 20 avril 2010²) : connaissance générale de la marée, détermination des constantes harmoniques et des niveaux extrêmes, prédiction de marée.

Depuis 2007, le SHOM est sollicité par les services de l'État pour l'installation d'un réseau de stations de surveillance du niveau de la mer dans les collectivités françaises du Pacifique destiné à contribuer au système d'alerte aux tsunamis dans le Pacifique.

Cet article³ décrit la mise en place de ce réseau jusque fin 2010 dans le cadre de la mission de soutien du SHOM aux politiques publiques maritimes et du littoral, notamment dans le cadre de la protection des biens et des personnes à l'aléa tsunami. Il rappelle le contexte du développement de ce réseau de marégraphes et présente quelques exemples d'opérations menées par le SHOM : reconnaissances de sites et installations de stations de mesure du niveau de la mer.

1.2 Cadre de développement d'un réseau de marégraphes

Pour disposer d'informations détaillées sur l'évaluation et la prévention du risque tsunami sur les côtes françaises, le lecteur pourra se référer au rapport 2007-117 du sénateur Courteau⁴.

Le risque avéré lié aux tsunamis avait conduit, dès 1946, à la création d'un centre d'alerte aux tsunamis aux États-Unis, puis au Japon en 1952. La commission océanographique intergouvernementale (COI) de l'Organisation des Nations

Unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO), créée en 1960, décidait ensuite de s'appuyer sur le centre d'alerte américain de Hawaii pour disposer d'un centre d'alerte opérationnel pour tous les États du Pacifique, dénommé Pacific Tsunami Warning Center (PTWC) en 1968.

La France dispose aussi d'un centre national d'alerte aux tsunamis en Polynésie française au sein du laboratoire de géophysique du commissariat à l'énergie atomique (CEA/LDG), coordonné avec le PTWC.

Les séismes récents de la période 2000-2010 ont encore démontré l'intérêt de la prévention du risque tsunami : le séisme de magnitude 8,8 du 1^{er} mars 2010 au Chili a généré une vague de 4 m à Atuana, une vague d'au moins 1,5 m à Nuku-Hiva dans l'archipel des Marquises et d'environ 1,5 m au Japon. D'autres séismes comme ceux aux îles Samoa le 30 septembre 2009 ou aux îles Salomon le 1^{er} avril 2007, rappellent périodiquement que les îles du Pacifique, et en particulier les territoires français du Pacifique, sont sous la menace d'un tsunami. Sans dispositif d'alerte (principalement des sismomètres) et de surveillance du risque (de préférence des marégraphes mesurant en continu le niveau de la mer), ces séismes pourraient causer des pertes humaines comme ce fut le cas à Sumatra en décembre 2004 (plus de 168 000 morts).

En conséquence, la France décidait en 2007 de renforcer les moyens consacrés à la prévention de ce risque, notamment en installant des sirènes pour prévenir les populations de l'imminence du tsunami, mais également des marégraphes pour mesurer à tout moment le niveau de la mer.

En 2007, le SHOM opérait un seul marégraphe permanent dans le Pacifique, installé à Nouméa sur le site de son antenne en Nouvelle-Calédonie, en baie de Numbo. Ce marégraphe côtier numérique (MCN), acquis par le SHOM et intégré au réseau d'observation du niveau de la mer (RONIM), avait été installé en 2005 pour remplacer un marégraphe à flotteur en fin de vie et permettre la poursuite de l'observation continue de la marée à Nouméa depuis 1967. Ce MCN a également pris la relève d'un marégraphe de l'université d'Hawaii dédié principalement à la détection de l'aléa tsunami en Nouvelle-Calédonie. De l'autre côté du Pacifique, en Polynésie française, les États-Unis avaient déployé trois marégraphes : à Papeete sur l'île de Tahiti, sur l'île de Nuku-Hiva dans l'archipel des Marquises et sur l'île de Mangareva aux Gambier. Le CEA avait également installé un marégraphe à Hiva-Oa.

En 2007, la délégation générale pour l'outre-mer (DéGéOM), en charge de la coordination ministérielle pour les collectivités d'outre-mer (COM), a ainsi sollicité le SHOM pour installer et maintenir un réseau de marégraphes permanents dans les COM du Pacifique. Ces installations ont été menées en concertation avec les autorités locales, notamment le Haut-commissariat de la République (HCR), le CEA/LDG et l'université de Polynésie française (UPF) en Polynésie, les services de l'administration supérieure à Wallis et Futuna, le HCR et le gouvernement de la Nouvelle-Calédonie en Nouvelle-Calédonie. Les principaux financeurs du projet sont la DéGéOM, le secrétariat permanent pour le Pacifique

¹ Voir l'article « Zéro hydrographique : vers une détermination globale » dans ces annales.

² Voir http://www.circulaires.gouv.fr/pdf/2010/06/cir_31210.pdf

³ Pour un complément d'informations, le lecteur pourra se référer au rapport d'étude n° 001/2010 qui traite dans le détail du réseau de marégraphes dans le Pacifique (disponible sur le site du SHOM www.shom.fr).

⁴ Voir <http://www.senat.fr/rap/r07-117/r07-117.html>

(SPP) relevant du ministère des affaires étrangères, le gouvernement de la Nouvelle-Calédonie, l'UPF et le SHOM.

Au fur et à mesure, les données des stations ont été mises à disposition de tous sur le site de la COI.

1.3 Sites à équiper

En Nouvelle-Calédonie, les sites retenus étaient Hienghène, Touho, Thio, Ouinné, Ouvéa, Lifou et Maré.

A Wallis et Futuna, il était prévu d'installer un marégraphe sur chaque île, à Mata Utu et à Leava.

En Polynésie française, les sites de Tubuaï (Australes), Rangiroa (Tuamotu), Huahine (La Société), Vairao (Tahiti), Rikitea (Gambier), Makemo (Tuamotu), Rurutu (Australes), Ua-Pou (Marquises) et Bora-Bora (îles de la Société) avaient été retenus pour disposer de deux sites par archipels et compléter le réseau initial composé de Papeete (Tahiti), Nuku-Hiva, Hiva-Oa (Marquises) et Mangareva⁵ (Gambier).



En bleu, les stations françaises avec en gras les stations installées fin 2010

1.4 Solutions technologiques possibles

La mise en place d'une station permanente de mesure du niveau de la mer nécessite d'envisager deux objectifs, la surveillance de l'aléa tsunami et le suivi du niveau moyen de la mer, afin de les satisfaire si possible simultanément.

L'aspect **aléa tsunami** requiert principalement robustesse et intégrité des mesures. Il est nécessaire de réaliser alors une double mesure relative issue de capteurs radar et barométrique afin d'assurer une redondance. Une transmission quasi temps réel est nécessaire. Pour le système de détection et d'alerte aux populations, les mesures sont principalement utilisées pour la connaissance du phénomène (réponse de la frange littorale à des ondes de tempête ou à un tsunami) et pour la levée de l'alerte. L'alerte est déclenchée grâce aux mesures de sismographes qui détectent le séisme à l'origine de tsunamis.

⁵ Le marégraphe existant à Mangareva dans l'archipel des Gambier est installé dans un parc à poissons dont le niveau ne descend pas en dessous d'une certaine cote, et qui ne peut donc pas mesurer les basses mers et encore moins les retraits lors d'un tsunami.

L'aspect **niveau moyen** requiert fiabilité et justesse des mesures. Seul le radar peut donc délivrer des données pertinentes. Ces mesures doivent être en permanence géoréférencées dans un référentiel global (de type ITRF, International Terrestrial Reference Frame, selon les recommandations internationales) : il est alors indispensable d'y associer un capteur GPS permanent de qualité, continuellement en fonction, permettant de détecter une évolution de la structure terrestre (sommairement pour savoir si l'île s'enfonce ou si le niveau moyen de la mer monte).

La station idéale (cf. figure 1 ci-dessous) est ainsi composée d'une unité d'acquisition, de capteurs radar et barométrique, d'un capteur GPS de précision, d'un émetteur de données et d'un réseau énergétique en partie autonome, le tout intégré dans un local robuste et non vulnérable (en particulier aux actes de détérioration volontaires ou involontaires). Des compromis sont possibles selon les sites.

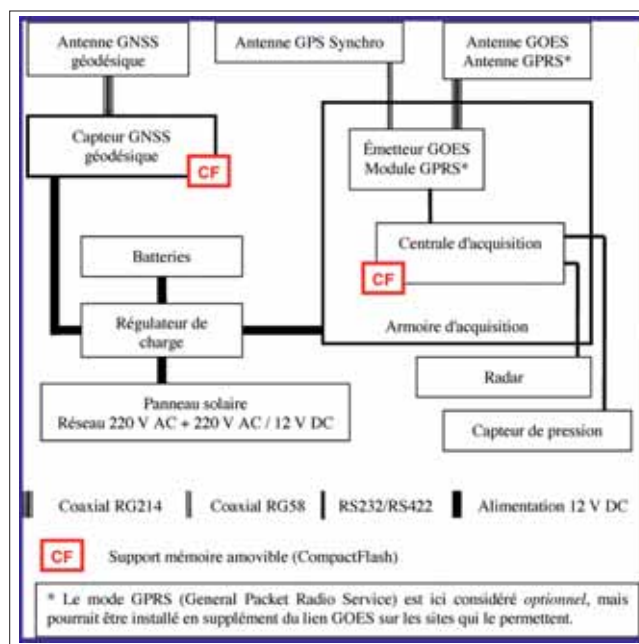


Figure 1 – Exemple d'architecture d'une station de surveillance du niveau de la mer

Afin de standardiser les stations de suivi du niveau de la mer, le SHOM a établi des spécifications techniques et a défini les caractéristiques de l'abri pour installer cette station. Ces éléments sont disponibles dans le rapport d'étude du SHOM n° 001/2010.

1.5 Définition des opérations de suivi et de maintenance du réseau

En juillet 2008, le SHOM a détaillé les opérations de suivi et de maintenance nécessaires du réseau, sur la base de ce que le SHOM effectue pour les marégraphe du réseau RONIM :

- contrôle exhaustif de la station de mesure du niveau de la mer au minimum tous les trois ans :
 - vérification des repères géodésiques et de nivellement, et installation de nouveaux repères autant que de besoin,
 - rattachement par GPS des repères d'une empreinte géodésique locale,

- nivellement orthométrique complet de tous les repères de l'observatoire de marée,
- calage du marégraphe par rapport au zéro hydrographique à la sonde lumineuse ou à l'échelle de marée,
- vérification métrologique du marégraphe (test de Van de Castele),
- mise à jour de la fiche d'observatoire de marée (cote des repères, photographies, plans de l'observatoire...),
- réunion avec les autorités locales,
- compte-rendu des opérations réalisées ;
- contrôle semestriel des instruments :
 - mesures à la sonde lumineuse ou à l'échelle de marée au moins autour d'une basse mer et d'une pleine mer, destinées à détecter au plus tôt une anomalie potentielle et à s'assurer que l'observatoire de marée est en état et que ses mesures sont fiables et justes,
 - entretien général des interfaces :
 - graissage des fixations mécaniques,
 - tests des câbles électriques,
 - entretien des connexions électriques,
 - contrôles des supports mécaniques,
 - nettoyage des panneaux solaires,
 - changement des batteries... ;
 - nettoyage de l'échelle de marée et du capteur barométrique,
 - mise à jour des logiciels des équipements,
 - mise à jour des configurations et des paramétrages des équipements,
 - formatage des mémoires après sauvegarde des données (internes et supports amovibles),
 - test de bon fonctionnement après une relance complète de la station,
 - rencontre avec les autorités locales,
 - compte-rendu des opérations réalisées ;
- intervention en cas de panne, de catastrophes naturelles ou de nécessité de retour de l'équipement chez le fournisseur ;
- contrôle, analyse, validation, archivage et mise à disposition des données ;
- traitements particuliers au profit des collectivités d'outre-mer (prédictions, calcul des surcotes, détermination des niveaux extrêmes...) ;
- gestion du réseau marégraphe et assistance à maîtrise d'ouvrage.

Ces opérations sont conformes aux recommandations internationales de l'UNESCO, de la NOAA (National Oceanic Atmospheric Administration) aux États-Unis ou du NTFA (National Tidal Facility Australia) en Australie. L'UNESCO/COI recommande d'effectuer cette tâche tous les ans pour le réseau GLOSS (Global Sea Level Observing System), et éventuellement plus souvent selon la structure géologique du site (conseil du Permanent Service for Mean Sea Level). Le service national océanographique de la NOAA (NOAA/NOS) exécute ces tâches au plus tous les six mois et lors d'orages violents, d'ouragans ou de séismes (spécifications du NOAA/NOS pour l'installation, l'entretien et le retrait de stations de mesure du niveau de la mer). Le NTFA effectue une opération complète de maintenance au plus tous les 18 mois pour les systèmes installés hors de l'Australie.

Des actions ponctuelles peuvent de plus être nécessaires, essentiellement pour récupérer les données et intervenir sur un dysfonctionnement. Il est donc important d'avoir en stock une station complète de rechange pour chaque bassin. Un programme de remplacement des batteries doit être prévu. Enfin, il est important de rappeler que la durée de vie de tels équipements n'excède pas 10 ou 15 ans, en particulier dans des environnements tropicaux humides et salins. Le remplacement des équipements sera donc à anticiper. Le cycle de maintenance pourra affiner cette espérance qui dépend des sites.

1.6 Travaux réalisés par le SHOM

Pour uniformiser les travaux d'installation à réaliser, des instructions techniques destinées aux agents du SHOM dans le Pacifique au sein du groupe océanographique du Pacifique (GOP) ont été rédigées : elles ont été systématiquement mises en œuvre lors des opérations d'intégration des stations de mesure du niveau de la mer.

La suite de cet article illustre, par quelques exemples choisis dans chaque bassin, les travaux réalisés par le GOP dans le Pacifique pour bâtir le réseau de marégraphe :

- reconnaissances pour établir la solution à installer et pour appréhender l'environnement de la station du niveau de la mer ;
- installations qui ont concrétisé la mise en œuvre du réseau.

Les opérations de maintenance indispensables à l'entretien de ce réseau sur le long terme sont seulement évoquées.

2. RÉSEAU DE NOUVELLE-CALÉDONIE

En Nouvelle-Calédonie, le GOP a procédé à la reconnaissance de sites :

- d'abord en avril 2009 pour une visite rapide des sites de Hienghène, Touho et Thio ;
- en novembre 2009 à Maré et Lifou ;
- en juillet 2010 à Ouinné et Thio ;
- en septembre 2010 à Touho et Hienghène.

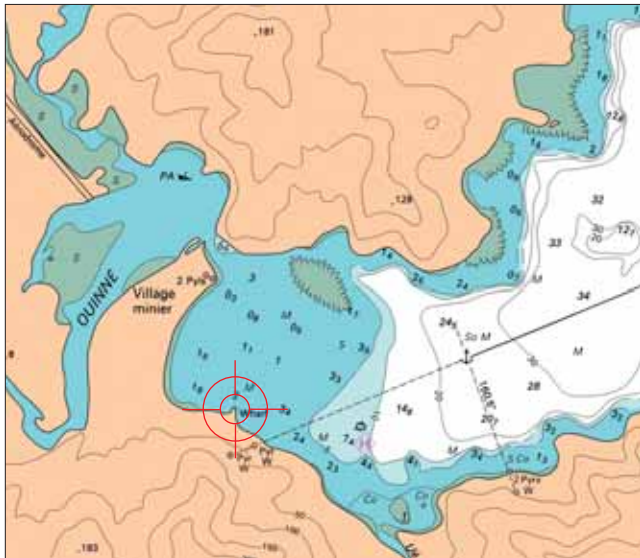
Chaque reconnaissance a fait l'objet d'un compte-rendu détaillé et les actions correspondantes ont été initiées :

- demande d'autorisation auprès de la mairie,
- demande d'implantation sur le domaine public maritime auprès de la province concernée,
- acquisition des équipements et éléments d'intégration,
- lancement de la construction des abris,
- demande d'identifiants aux gestionnaires des satellites GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite) du système mondial de transmission (SMT) de l'organisation météorologique mondiale à savoir : la NOAA pour la Polynésie française et la JMA (Japan Meteorological Agency) pour la Nouvelle-Calédonie et Wallis et Futuna.

2.1 Ouinné : reconnaissance en juillet 2010

Ouinné est une baie encaissée, peu protégée à l'est. Elle dessert une mine. Ce site n'est accessible que par rotation aérienne (rotations organisées directement par la société

minière Georges Montagnat : SMGM) : aucune route terrestre n'est ouverte jusqu'à la baie de Ouinné. Aucune dégradation volontaire n'est donc envisagée ; aussi, l'abri habituellement requis pour protéger la station marégraphique n'est pas indispensable et une installation légère (type mâtereau) est possible. Après reconnaissance, le wharf de transbordement a été retenu pour l'installation d'une station marégraphique comme indiqué ci-dessous.



Site du wharf sur un extrait de la carte marine 7073

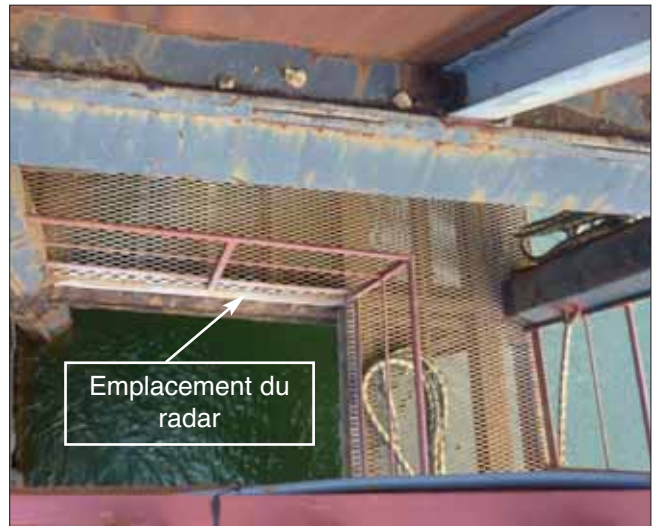


Wharf de transbordement

Le site du wharf de transbordement offre les avantages suivants :

- la hauteur d'eau y est suffisante quelque soit la marée ;
- supportant des camions de plusieurs centaines de tonnes, cette structure est particulièrement stable ;
- remontés sur la tour de guet, les aériens de la station marégraphique seront parfaitement dégagés ;
- la partie inférieure et intérieure du wharf offre la possibilité d'écarter le radar de l'enrochement, tout en offrant une sécurité complète vis-à-vis des barges qui accostent du côté extérieur.

La centrale d'acquisition placée sous le wharf sera protégée du soleil et des intempéries. Son coffret étanche sera tourné dos au vent dominant. Concernant les aériens, la guérite permettra une fixation sans masquage du panneau solaire et de l'antenne Yagi d'émission vers un satellite GOES.



Position possible du radar sur le wharf de transbordement



Guérite pour installer l'antenne Yagi et les panneaux solaires

3. RÉSEAU DE WALLIS ET FUTUNA

Les spécifications du réseau de marégraphes pour la surveillance du risque tsunami à Wallis et Futuna prévoyaient une station pour Wallis et une autre pour Futuna. Une mission de reconnaissance du GOP, accompagnée du chef du service des phares et balises de Wallis et Futuna, s'est rendue à Wallis et à Futuna du 11 au 13 novembre 2009. Lors

des visites protocolaires dans les royaumes de Alo et de Sigave à Futuna, le SHOM a rappelé l'importance de ce projet pour la sécurité des biens et des populations. Les chefferies ont donné leur accord à l'installation de l'équipement. A l'issue de cette reconnaissance, il a été décidé d'installer une station marégraphique à Léava sur l'île de Futuna dès que possible, et à Mata Utu sur l'île de Wallis après la fin des travaux d'extension de la plateforme portuaire (fin 2011 *a priori*). Un abri a été construit à Léava début 2011 et les équipements scientifiques ont été achetés en 2010. Le financement a été assuré par le SPP.

4. RÉSEAU DE POLYNÉSIE FRANÇAISE

Ce territoire était, en 2007, équipé de quatre stations de suivi du niveau des mers. La direction de la défense et de la protection civile (DDPC) avait alors jugé indispensable de densifier le réseau pour *in fine* disposer de deux stations par archipels permettant de détecter et suivre un tsunami d'où qu'il vienne comme ce fut le cas lors des séismes au Chili en 2010 et 1995, aux Samoa en 2009, au Pérou en 1996... Le GOP a donc procédé :

- à la reconnaissance de sites à Bora-Bora en octobre 2009, à Vairao sur l'île de Tahiti en décembre 2009, aux Gambier en février 2010, à Makemo en octobre 2010 ;
- à l'installation de stations du niveau de la mer à Tubuaï en décembre 2008, à Rangiroa en février 2009, à Nuku-Hiva en juin 2009, à Huahine en avril 2010 ;
- à des opérations de maintenance à Tubuaï en janvier et juillet 2010, notamment à la suite du cyclone Oli et de dégradations volontaires de l'antenne de transmission satellite, et à Rangiroa en avril 2010 ;
- à une maintenance externe de la station installée à Papeete par l'université de Hawaï afin de disposer d'une connaissance (vérification métrologique, nivellement, rédaction d'une fiche d'observatoire de marée).

Ces opérations ont fortement mobilisé les équipes du GOP depuis 2008 : préparation des travaux (achats, organisation logistique), exécution des travaux sur le terrain nécessitant souvent une capacité d'adaptation, capitalisation des interventions (compte-rendu vers les autres partenaires, gestion de configuration du système...) et gouvernance du réseau.

L'exploitation des données est assurée dans le temps essentiellement par l'UPF (niveau moyen) et le CEA/LDG (tsunami) en lien avec le PTWC. La suite de l'article illustre la phase d'installation de stations à Rangiroa et à Huahine.

4.1 Rangiroa : installation en février 2009

La mission d'installation de la station du niveau de la mer à Rangiroa a eu lieu du 23 février au 3 mars 2009, suivie le 13 juillet 2009 de l'installation du capteur de pression dont l'acquisition n'avait pas été prévue initialement. Cette station concourt à deux objectifs :

- réseau de détection et d'alerte aux aléas tsunamis, en particulier en terme de « calibration » du site (besoin de la DDPC) ;
- étude du niveau moyen de la mer à long terme (besoin de l'UPF).

Pour réduire la vulnérabilité de l'abri, du barbelé a été installé autour du toit en accord avec les autorités locales. Chaque équipement du système est décrit par la suite.

Les deux photos ci-dessous présentent une vue générale de la station en juillet 2009 :



Abri avec les équipements de la station et radar installé

4.1.1 Description du système

Un radar Vega est intégré sur un support réalisé par le SHOM. Il est protégé par un dôme. La valeur mesurée entre son zéro instrumental et la surface de l'eau est transmise à la centrale d'acquisition. Ce capteur est positionné verticalement à l'aide d'une bulle et a été nivelé pour déterminer précisément la cote de son zéro instrumental par rapport au zéro hydrographique.

Un capteur barométrique Keller est intégré à l'intérieur d'un tube rigide en PVC fixé en son extrémité (cf. photo ci-dessous) :



Marégraphe à pression

Ce tube est ensuite fixé au quai permettant un démontage simple pour le nettoyage du capteur lors de la visite périodique. Ce capteur est compensé de la pression atmosphérique par un capillaire. Ce capteur a été installé en juillet 2009. Il assure une redondance du capteur radar.

Les 3 vues en bas de page présentent l'intérieur de la centrale d'acquisition. Le capteur radar et le capteur de pression sont connectés à la centrale qui assure l'acquisition des données et prépare la transmission des données au module GOES. Une adaptation électrique a été réalisée afin de pouvoir alimenter l'armoire par une basse tension extérieure (batteries externes alimentées par panneau solaire) en maintenant la capacité d'alimenter l'armoire par une tension extérieure de 220 V. L'armoire possède sa propre batterie interne, qui est rechargée, permettant un isolement de l'armoire vis-à-vis du réseau basse tension de la station. La centrale d'acquisition se paramètre à l'aide du câble de service et d'un PC. La station émet en temps réel les données de hauteur d'eau vers un satellite géostationnaire du SMT. La station stocke aussi en local les données des 1 000 derniers



Batterie dédiée à l'armoire

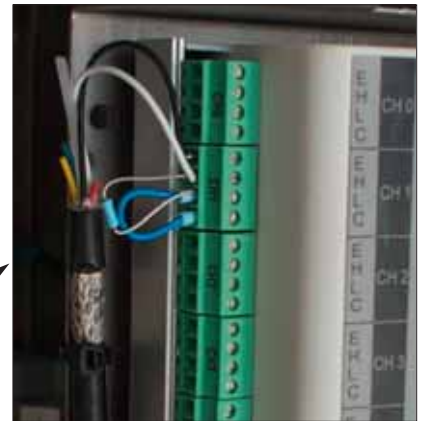
Émetteur GOES

Câble de service pour le paramétrage

Chargeur de la batterie dédiée

Centrale d'acquisition (sans sa CF)

Convertisseur basse tension (option 220V AC)



Adaptation

jours. La configuration actuelle prévoit un message toutes les 60 minutes⁶ (à heure ronde) avec les 30 dernières mesures effectuées toutes les 2 minutes.

Il n'y a pas de redondance des données transmises. Cette diffusion occuperait alors 20 secondes, contre 15 secondes allouées par la NOAA. Une demande d'extension sera donc réalisée pour avoir soit une fenêtre de 30 secondes toutes les heures, ou alors une fenêtre de 15 secondes au minimum toutes les 30 minutes.

L'antenne Yagi est pointée vers le satellite GOES 135 W. Cet équipement possède également un récepteur GPS intégré dont le rôle est de permettre une synchronisation, opération effectuée une fois par jour, 5 minutes après le changement de date UTC (soit 14:05 heure locale).

Un capteur GNSS Leica de haute précision exploite simultanément les signaux des satellites GPS et GLONASS (système russe de positionnement par satellites équivalent au GPS américain). Le capteur possède une batterie interne, qui n'est pas rechargée, permettant d'isoler l'équipement pour une durée (ou plusieurs cumulées) maximale de 5 heures. La figure ci-après montre une vue générale du capteur intégré :



* Global Navigational Satellite System

Ce capteur doit être paramétré à l'aide d'un PC par une connexion Ethernet. Raccordé à Internet, il serait possible de le configurer ainsi que d'en récupérer les données quotidiennement. Cette évolution majeure serait également envisageable pour la centrale d'acquisition Vaisala, remplaçant alors le canal GOES ou assurant une redondance de transmission. Pour l'heure, les données GNSS sont stockées sur le support amovible CF de 1 Go : dans les conditions actuelles, l'autonomie est supérieure à 500 jours, nécessitant l'intervention d'un technicien compétent au moins tous les ans.

⁶ L'accès au réseau du SMT est contraint. Le gestionnaire (ici la NOAA) décide de la cadence de transmission des données. Le représentant français à l'UNESCO/COI fait valoir le besoin d'une cadence plus élevée. Si cela est accepté, le système pourra s'y adapter après modification du paramétrage. Pour ses stations de mesure du niveau de la mer, la NOAA dispose d'une cadence d'émission toutes les 5 minutes.

L'antenne GNSS Leica est de type Choke Ring.



Antenne GPS

Cette antenne réduit très fortement les multi-trajets. L'intégration du support de l'antenne a été réalisée très précisément. Un support a été scellé à l'aide de mortier chimique bi-composant dans le pilier GPS du local. Ce support a été mis en place à l'aide d'une croix de Malte, assurant ainsi son horizontalité. L'antenne est orientée vers le Nord.

Une évolution de la station pourrait être de l'équiper d'un capteur de précipitation de manière à exploiter les données GPS. La centrale d'acquisition peut gérer d'autres senseurs (capteurs météorologiques, capteurs hydrologiques...), et cette information pourrait être utile dans le futur.

La station est équipée d'un réseau basse tension 12 V, composé d'un panneau solaire, d'un régulateur de charge et d'une batterie dédiée. Il répond à un besoin énergétique de 200 Wh/j. Dans les conditions d'emploi, le module photovoltaïque recharge en 3 heures la consommation intervenue dans la nuit. Un régulateur de charge optimise le rendement, notamment en début et fin de journée.

Le réseau, basse tension, installé à Rangiroa est présenté page suivante :

4.1.2 Confirmations métrologiques du système

En plus de la recette du système, des vérifications métrologiques ont été réalisées afin de s'assurer de l'intégrité des équipements. Ces opérations devront être conduites lors des contrôles périodiques.

Recette du système

La recette du système s'est déroulée à Papeete à proximité des locaux du GOP en Polynésie française. La configuration a ainsi pu être validée avant l'installation. Les résultats principaux sont :

- la mesure et le calcul cohérents de hauteurs d'eau rapportées à un niveau de référence (zéro hydrographique dans le cas présent) ;
- la robustesse du système face aux coupures d'alimentation et recharge de la batterie interne ;
- la mise à l'heure UTC quotidienne du système ;
- l'enregistrement daté de toutes les données et la récupération des données stockées ;
- l'émission des données vers GOES et leur adressage vers le PTWC et le CEA/LDG ;
- l'enregistrement des données GNSS.

Tous ces tests devront être réalisés pour chaque station.



Régulateur électronique de charge

Arrivée module photovoltaïque

Diffusion basse tension

Échange avec le bloc batterie

Panneau solaire orienté au nord et incliné de 20°



La batterie spécifique solaire (116 Ah) isolée du sol

Le besoin « 5 jours » a été retenu, une seule batterie a donc été intégrée

Confirmation métrologique des mesures de hauteurs d'eau

La confirmation métrologique a consisté en deux tests de Van de Casteele, l'un à Papeete, l'autre *in situ* à Rangiroa, tous deux effectués avec une échelle de marée. Dans les deux cas, un nivellement orthométrique des repères fondamentaux de l'observatoire de marée a été préalablement réalisé.

A Papeete, le système témoigne d'une excellente justesse et présente une très bonne fidélité. L'écart type de 10 mm cumule les incertitudes des deux « marégraphes » (radar et échelle de marée). En considérant les erreurs aléatoires (hypothèse validée par la distribution observée), indépendantes et égales entre elles, on obtient un écart-type pour le radar de 7 mm, et probablement mieux compte tenu de la difficulté de réaliser des mesures au centimètre sur l'échelle de marée. Dans tous les cas, ce système est conforme aux exigences du programme mondial GLOSS. Cet équipement ne présente aucune erreur systématique décelable sur le diagramme de Van de Casteele établi lors de cette confirmation.

A Rangiroa, le biais moyen observé entre mesures radar et mesures à l'échelle de marée est de 4 mm avec un écart-type de 11 mm. En considérant les erreurs de l'échelle et du capteur radar indépendantes et égales entre elles, on obtient une incertitude de 8 mm pour un biais de 2 mm, ce qui respecte également les exigences de GLOSS. Cette estimation est un majorant, les lectures échelle étant assurément entachées d'erreurs plus conséquentes. Le rattachement orthométrique réalisé à Rangiroa a ainsi été confirmé.

Confirmation métrologique des mesures GNSS

Cette confirmation a essentiellement consisté en une validation des équipements installés, à Papeete et *in situ*. Il était important de détecter un éventuel dysfonctionnement des équipements installés : la justesse et la fidélité du capteur ont été analysées. Aucun biais significatif n'a été observé. Sur le point de référence à Papeete, la solution obtenue par ce capteur sur plusieurs jours est cohérente à 2 mm près avec le point moyen obtenu à l'aide d'autres capteurs. Compte tenu de la méthodologie retenue, ce résultat valide donc largement le besoin : le capteur mis en service ne présente pas de défaut de justesse.

Enfin, en analysant la fidélité lors de l'installation à Rangiroa, c'est-à-dire en comparant la solution cinématique à 1 s à la solution statique considérée comme référence, on obtient de très bons résultats également

Biais	-1,5 mm
Écart-type	1,8 cm
Erreur maximale	8 cm

Ces résultats témoignent d'une très bonne fidélité du récepteur GNSS : il fonctionne nominalement et les données GNSS recueillies sont intégrées et de très bonne qualité.

4.1.3 Premiers résultats

La station marégraphique a été installée : capteur radar, capteur de pression, centrale d'acquisition, antenne et récepteur GPS, antenne Yagi, panneaux solaires, réseau électrique, échelle de marée, repères de nivellement, douilles géodésiques.

L'ensemble des repères constituant la station d'observation a fait l'objet d'un nivellement orthométrique.

Afin de qualifier le site de la station, une empreinte géodésique a été initialisée (détermination précise par GNSS de la position de points autour de l'observatoire de marée et jusqu'à une dizaine de kilomètres). Cette empreinte a pour objectif de modéliser d'une manière locale et relative les différents points. Elle doit en particulier rattacher le site de la station de mesure du niveau de la mer, par construction sur le littoral, à des points « stables » de l'environnement. L'évolution de l'empreinte permettra de détecter les défauts de stationnarité de l'observatoire. Tout affaissement accidentel pourra être décelé.

Une vérification métrologique (test de Van de Casteele) a été réalisée.

Une fiche d'observatoire de marée a été rédigée. Des fiches géodésiques ont été rédigées pour décrire tous les points stationnés.

Un compte rendu détaillé précisant toutes ces opérations a été publié.

4.1.4 Évolutions et maintien en conditions opérationnelles de la station

Le système installé à Rangiroa répond aux besoins exprimés. En outre, il satisfait les exigences imposées dans ce domaine par le programme mondial GLOSS. Néanmoins, des évolutions peuvent d'ores et déjà être envisagées, notamment afin de pallier les latences d'obtention des données (et le risque associé d'en perdre) et la vulnérabilité potentielle aux actes de malveillance (et l'indisponibilité associée).

Les trois principaux points perfectibles pourraient donc être :

- l'alimentation par une ligne 220 V : le panneau solaire ne serait alors plus critique ;
- le raccord de la station au réseau Internet : les données GNSS pourraient être récupérées quotidiennement, et les données radar ne seraient plus diffusées par GOES, ce qui conduirait à ne plus utiliser l'antenne GOES, également très vulnérable. Par ailleurs, le paramétrage et le monitoring de la station complète pourraient être assurés depuis n'importe quel ordinateur raccordé à Internet ;
- l'émission des données marégraphiques par un modem GPRS à la place du canal GOES.

Dans tous les cas, une visite de contrôle périodique doit être réalisée selon les indications définies au §1.5.

Cette seconde installation réalisée nominalement par le SHOM dans le Pacifique, après la station marégraphique de Tubuaï en décembre 2008, ne doit pas faire oublier que des difficultés techniques ou climatiques peuvent survenir (intempéries, pannes...).

4.2 Huahine : installation en avril 2010

4.2.1 Présentation

La station installée au quai Haamene à Huahine vise à :

- mieux connaître la marée sur zone ;
- participer au réseau de détection de l'aléa tsunami.

L'objectif d'étude à long terme du niveau de la mer a dû être provisoirement écarté sur ce site car de nombreux travaux d'aménagements du quai Fare étaient toujours susceptibles d'y être menés à l'époque de l'installation. En conséquence, la construction d'un abri et l'association d'un GPS de précision ont, à cette époque, été abandonnées sur ce site où une intégration « légère » (sur mâtereau et sans capteur radar) a été retenue. La photo ci-contre présente une vue générale de la station.

4.2.2 Description du système

Le quai de Haamene est situé face à la passe d'Avamoa, dans une baie étroite et peu profonde : les interlocuteurs rencontrés localement ont confirmé l'intérêt de ce site qui a rendu visible le tsunami de septembre 2009 (Samoa). Située à proximité de l'embouchure d'une rivière, sur la rive opposée aux installations de la direction de l'équipement, la portion de quai retenue pour l'installation n'est presque jamais utilisée car située à l'extérieur de la darse protectrice formée par les quais (si ce n'est annuellement lors de la compétition de pirogues « Va'a Hawaiiiki Nui », où la concentration d'embarcations devient alors phénoménale).

Cette configuration à l'embouchure d'une rivière présage quelques difficultés :

- en cas de très fortes pluies, fréquentes en saison cyclonique, le niveau de la rivière peut monter de manière significative (plus de 30 cm selon les témoignages recueillis). Cet effet sera certainement moindre à l'extrémité de quai retenu, mais il conviendra de l'étudier si des mesures aberrantes étaient trouvées ;
- des troncs d'arbres sont régulièrement charriés dans la baie par la rivière : ceci constitue un risque réel pour l'intégrité du capteur de pression immergé même si des précautions ont été prises ;
- bien qu'il soit de construction récente, ce quai a une tendance visible à l'enfoncement, ce qui laisse supposer une relative instabilité des fonds au niveau de cette embouchure de rivière ;
- enfin, le mélange d'eau douce de rivière et d'eau de mer salée pourrait perturber les mesures délivrées par le capteur de pression.

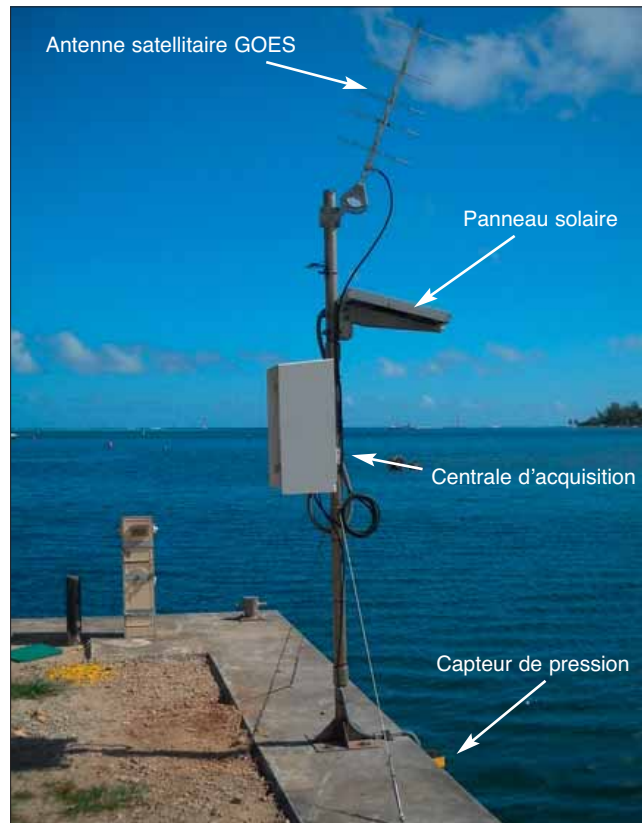
La station marégraphique comporte (photo ci-contre) :

- des éléments fixés sur un mâtereau : une centrale d'acquisition, une antenne Yagi pour l'émission vers un satellite géostationnaire du SMT, une antenne GPS pour la synchronisation de la centrale, un panneau solaire ;
- un capteur de pression immergé sur lest.

Le mâtereau en inox a été rallongé à 3,30 m afin de relever l'antenne Yagi et le panneau solaire. Pour renforcer la structure, des haubans ont été ajoutés. Pour l'embase du mâtereau et les haubans, seules des fixations dans le béton de la poutre de couronnement du quai ont été employées (la soupe de corail constituant le quai étant impropre à cette fixation).

Le capteur de pression est relié à la centrale d'acquisition par un câble de 5 m de long, qui présente la particularité de contenir un capillaire (pour la compensation de la pression atmosphérique) sensible au pincement. Ce dernier a été protégé :

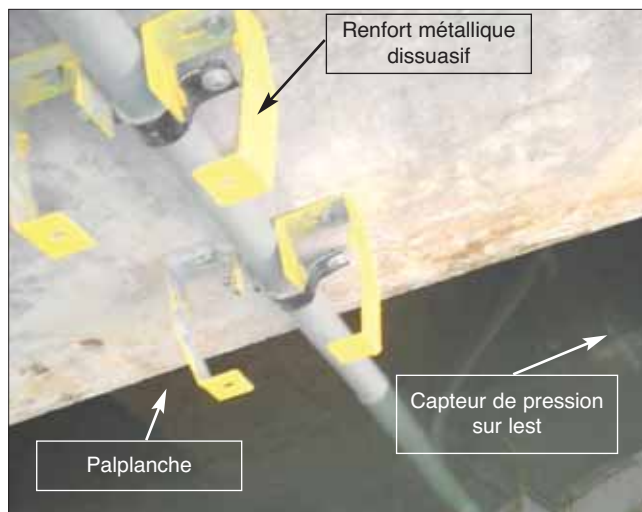
- par une gaine en PVC souple ;



- par un tube rigide en PVC supplémentaire (diamètre 40 mm) le long du quai ;
- par des renforts métalliques dissuasifs pour éviter que des embarcations ne viennent s'amarrer sur cette portion de quai (photo ci-dessous).

Le capteur de pression repose sur un lest :

- protégé de tout objet dérivant dans la rivière par un renforcement des palplanches ;
- posé sur fonds rocheux, pour limiter le phénomène d'enfoncement présent dans les fonds vaseux de cette embouchure de rivière.



La station marégraphique comporte également une échelle de marée située près de la cale dans la darse Haamene : elle a été installée pour que son zéro corresponde au zéro hydrographique (cf. première photo page suivante).

Pour réduire la possibilité d'extraction de l'échelle de marée de son support, des cales en bois sacrificielles ont été utilisées.

A destination du public, une plaque d'information a été visée sur la porte du coffret de la centrale d'acquisition. Les données de cette station ont été rendues disponibles depuis le 11 mai 2010 (cf. seconde photo ci-dessous).



4.2.3 Retour d'expérience

Le système installé à Huahine répond aux besoins exprimés par le CEA/LDG et la DDPC, et satisfait les exigences imposées dans ce domaine par le programme mondial GLOSS. Néanmoins, **le SHOM maintient sa recommandation d'installation sur un abri au quai de Fare dès que les travaux d'aménagement de ce quai seront finalisés.** Cette évolution permettrait d'ailleurs de rendre cette station apte à l'étude du niveau de la mer à long terme.