

Rapport d'étude

SHOM

Réseau de marégraphes dans le Pacifique  
par  
Serge Lannuzel



N° 001/2010

Service hydrographique et océanographique de la marine

# Rapport d'étude **S H O M**



**Réseau de marégraphes dans le Pacifique**

par

**Serge Lannuzel**



n° 001/2010





## Fiche documentaire

### *Rapport d'étude n° 001/2010*

**Titre :** RÉSEAU DE MARÉGRAPHES DANS LE PACIFIQUE

**Auteurs :** Serge LANNUZEL avec la participation de Yves-Marie TANGUY, Yann DUPONT et Ronan CREACH

**et appartenances :**  
SHOM/DSPRE/PL – SHOM/GOP (chef LOG) – SHOM/GOA (adjoint chef LOG)  
– SHOM/DO/MIP/PEP/HDC (chef du projet RONIM)

**Mention de protection :** Non protégé

**Diffusion (externe, interne, réservée) :** Externe et interne

**Diffusion numérique :** [www.shom.fr](http://www.shom.fr)

**Observations diverses :**

**Mots-clés :** Marégraphie - marégraphe - marée - tsunami - prévention - alerte - surveillance - pression - Radar - zéro hydrographique - SHOM - hydrographie - Polynésie - Wallis - Futuna - Nouvelle-Calédonie - installation maintien en condition opérationnelle - maintenance - échelle - repère de nivellement - observatoire de marée - GOP.

**Résumé :** au verso

**Abstract :** on back

## **RÉSUMÉ :**

Ces dernières années encore, de nombreux séismes ont déclenché des tsunamis dans le Pacifique. Aussi, l'État cherche 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 est plus particulièrement 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. Ce rapport rend compte de l'avancement des opérations menées par le SHOM depuis 2007 : 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 se poursuivront dans les prochaines années.

Il convient toutefois de pérenniser ces investissements en mettant en place le MCO du réseau de marégraphes afin d'entretenir et de confirmer les équipements installés, qui 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 once more 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) is 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 since 2007: surveying of sites, specification of tide stations and shelters, installations following the standardization of procedures, definition of a maintenance program. Tide gauges facilities will continue to be installed in the coming years.

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.

# Table des matières

<b>1</b>	<b>PRÉSENTATION.....</b>	<b>2</b>
1.1	Introduction .....	2
1.2	Le système d’alerte aux tsunamis dans le Pacifique.....	2
1.3	État de la contribution française au réseau marégraphique dans le Pacifique en 2007.....	3
1.4	Les événements récents de tsunamis dans le Pacifique .....	4
1.5	Un besoin de densification du réseau .....	9
1.6	Le cadre de développement du réseau .....	9
1.7	Sites à équiper .....	9
1.8	Financement du réseau .....	10
1.9	Solutions technologiques possibles.....	10
1.10	Définition des opérations de suivi et de maintenance du réseau .....	14
1.11	Travaux réalisés.....	14
<b>2</b>	<b>RÉSEAU DE NOUVELLE-CALEDONIE.....</b>	<b>15</b>
2.1	Ouinné : reconnaissance en juillet 2010.....	15
<b>3</b>	<b>RÉSEAU DE WALLIS ET FUTUNA .....</b>	<b>21</b>
3.1	Wallis .....	21
3.2	Futuna.....	24
3.3	Conclusion .....	26
<b>4</b>	<b>RÉSEAU DE POLYNESIE FRANÇAISE .....</b>	<b>27</b>
4.1	Rangiroa : installation en février 2009 .....	27
4.2	Les Gambier : reconnaissance en février 2010 .....	42
4.3	Huahine : installation en avril 2010 .....	48
<b>5</b>	<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>59</b>
	<b>ANNEXE 1 : spécifications techniques d’une station du niveau de la mer.....</b>	<b>60</b>
A1-1	Exigences fonctionnelles matérielles .....	60
A1-2	Exigences fonctionnelles logicielles .....	64
A1-3	Gestion des données.....	65
A1-4	Séquençage des opérations.....	65
A1-5	Initialisation de la centrale d'acquisition.....	65
A1-6	Gestion des tests.....	66
A1-7	Mise à disposition des données vers sortie PC .....	66
	<b>ANNEXE 2 : caractéristiques de l’abri d’une station du niveau de la mer .....</b>	<b>67</b>
A2-1	Présentation.....	67
A2-2	Exigences techniques pour l’intégration.....	69
A2-3	Dimensions de l’abri.....	72
A2-4	Mise en place de l’antenne GPS de précision .....	73
	<b>ANNEXE 3 : IT prescrivant les travaux à réaliser par le GOP .....</b>	<b>75</b>
A3-1	Généralités.....	75
A3-2	Intégration de la station marégraphique.....	75
A3-3	Géodésie – localisation.....	76
A3-4	Marée.....	77
A3-5	Résultats et rédaction .....	78
A3-6	Comptabilité.....	78

# 1 PRÉSENTATION

## 1.1 Introduction

Le service hydrographique et océanographique de la marine plus communément appelé SHOM observe depuis plusieurs dizaines d'années les hauteurs d'eau en Polynésie française et en Nouvelle-Calédonie, d'abord pour ramener ses levés bathymétriques à une référence stable, le zéro hydrographique (ZH) ou zéro des cartes marines<sup>1</sup>, 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 instrumenté de nombreux observatoires de marée, souvent de manière temporaire mais aussi parfois avec des observatoires permanents.

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 destiné à contribuer au système d'alerte aux tsunamis dans le Pacifique. Ces nouvelles installations s'inscrivent aussi dans le cadre d'un projet de surveillance des variations à long terme du niveau moyen de la mer, projet qui intéresse l'université de Polynésie française (UPF).

Ce rapport d'étude décrit les travaux réalisés par le SHOM depuis 2007 pour mettre en place ce réseau dans le cadre de son soutien aux politiques publiques maritimes et du littoral, en particulier dans une perspective de sécurité civile. Il rappelle le contexte du développement de ce réseau de marégraphes, donne quelques exemples d'opérations menées par le SHOM, reconnaissances de sites et installations de stations de mesure du niveau de la mer et fournit en annexes les spécifications d'acquisition d'une station marégraphique, de construction d'un abri et des travaux à réaliser à l'installation.

## 1.2 Le système d'alerte aux tsunamis dans le Pacifique

Les informations contenues dans ce paragraphe sont extraites du rapport 2007-117 du sénateur Courteau<sup>2</sup>.

### 1.2.1 Centre régional du Pacifique

La mise en place d'un système international d'alerte aux tsunamis dans l'océan Pacifique est la conséquence directe de la multiplication des télétsunamis dans cette zone entre 1946 et 1964 : en vingt ans, pas moins de 5 télétsunamis ont traversé le Pacifique, faisant plusieurs milliers de victimes et des dégâts considérables.

Après le tsunami du 1<sup>er</sup> avril 1946 en provenance des îles Aléoutiennes qui dévasta l'île Hilo, les États-Unis décidèrent la création d'un centre d'alerte national au tsunami sur le site de l'observatoire géomagnétique de Honolulu.

Après le tsunami du 4 novembre 1952 au large de la péninsule de Kamchatka, le Japon créa son propre centre d'alerte national dont la responsabilité fut confiée à l'agence météorologique JMA (Japan Meteorological Agency). Une coopération entre les deux centres d'alerte, japonais et américain, s'instaura sous la forme d'échanges de données sismiques.

Le 22 mai 1960, un télétsunami dévasta le Chili et plusieurs îles du Pacifique. Quelque mois plus tard, l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO) créait en son sein la commission océanographique intergouvernementale (COI) chargée de développer la coopération entre les États dans le cadre des recherches sur l'océan. Dès sa création, la COI se fixa comme mission la prévention des risques liés à l'océan, dont les risques de tsunami.

Le tsunami du 28 mars 1964 en provenance d'Alaska accéléra la mise en place du système d'alerte aux tsunamis dans le Pacifique : dès 1965, un groupe international de coordination du système d'alerte aux tsunamis dans le Pacifique (surnommé GIC/Pacifique) fut créé.

La COI accepta l'offre des États-Unis d'Amérique d'élargir les services de leur centre national d'alerte

---

<sup>1</sup> Voir l'article « Zéro hydrographique : vers une détermination globale » dans la revue XYZ n°79 du 2<sup>ème</sup> trimestre 1999.

<sup>2</sup> Voir <http://www.senat.fr/rap/r07-117/r07-117.html>

aux tsunamis à Hawaii qui fut désormais utilisé comme centre d'alerte opérationnel pour tous les États du Pacifique.

En 1968, l'observatoire d'Honolulu devint officiellement le centre d'alerte aux tsunamis du Pacifique (PTWC : Pacific Tsunami Warning Center).

### *1.2.2 Le centre national en Polynésie Française (CEA/LDG)*

L'instauration d'un centre national d'alerte aux tsunamis en Polynésie est directement liée aux activités nucléaires de la France dans le Pacifique.

Implanté par le CEA au début des années soixante, le laboratoire de géophysique de Tahiti a été, dès 1964, chargé de fournir des informations sur les tsunamis susceptibles d'affecter les côtes de la Polynésie française. Il a pour cela mis en place le réseau sismique polynésien et développé des méthodes de plus en plus perfectionnées pour évaluer le potentiel tsunamigène des séismes.

Aujourd'hui, les activités du laboratoire de géophysique (LDG) de Pamatai sont triples.

D'abord, dans le cadre du traité d'interdiction complète des essais nucléaires, le LDG/Pamatai participe au système de surveillance international des explosions nucléaires.

Ensuite, le réseau sismique polynésien du laboratoire est chargé de surveiller 24 h sur 24 la sismicité de la Polynésie française, sont visés : les séismes, mais également les volcans sous-marins, les éboulements ou encore les ondes de tempête. Dans ce cadre, le LDG/Pamatai exploite depuis 1962 neuf stations sismiques réparties sur Tahiti, Rangiroa, Tubuaï et Rikitea.

Enfin, le LDG/Pamatai gère le centre polynésien de prévention des tsunamis qui assure l'alerte opérationnelle aux tsunamis en permanence dans le Pacifique en relation avec le PTWC.

### *1.2.3 Les capteurs utiles au système d'alerte*

La détection du tsunami s'effectue à travers des instruments de mesure. Le réseau de sismomètres permet de localiser l'épicentre et le foyer d'un tremblement de terre et de mesurer sa magnitude afin de déterminer si ce dernier peut provoquer un tsunami. Dans l'affirmative, les données des tsunamimètres et des marégraphes permettent de valider ou d'infirmer la présence d'un tsunami et d'affiner les informations concernant son amplitude. La détection rapide d'un tsunami exige donc non seulement des réseaux d'instruments de mesure en nombre suffisant, mais également des réseaux dotés de moyens de communication perfectionnés qui autorisent la transmission des données en temps réel. Quant au centre d'alerte, il doit avoir accès à ces données, mais aussi être capable de les traiter et de les analyser, ce qui implique une veille 24 h sur 24, 7 jours sur 7.

**Un tsunamimètre** est un capteur de pression installé au large qui est capable de détecter des vagues de très faible amplitude. (<http://nctr.pmel.noaa.gov/Dart/index.html>).

**Un marégraphe** est un instrument qui mesure le niveau de la mer à un point donné. D'une part, ils font partie du dispositif d'alerte en fournissant de précieuses informations pour les pays limitrophes ou les régions et îles voisines ainsi qu'aux services de sécurité civile qui peuvent déclencher immédiatement les secours en cas de détection d'un tsunami. D'autre part, les données mesurées (ampleur et période du phénomène, heure d'arrivée) sont utilisées dans la reconstitution du phénomène et dans les modèles de simulation. Pour autant, leur intégration dans le dispositif d'alerte implique qu'ils soient capables de transmettre leurs données en temps réel.

## **1.3 État de la contribution française au réseau marégraphique dans le Pacifique en 2007**

### *1.3.1 Nouvelle-Calédonie*

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, grâce à la participation du gouvernement de la Nouvelle-Calédonie, 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.

Il fonctionne en temps réel depuis septembre 2010 mais n'est pas très utile pour l'alerte du fait de la taille du lagon : Nouméa est protégé et de plus les vagues mettent un temps important pour entrer jusqu'au marégraphe. Du coup il est inutile pour l'alerte, pour la France comme pour les autres pays.

### 1.3.2 Polynésie française

En Polynésie française, en 2007, 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 commissariat à l'énergie atomique (CEA) avait également installé un marégraphe à Hiva-Oa sur financement du ministère de l'outre-mer.

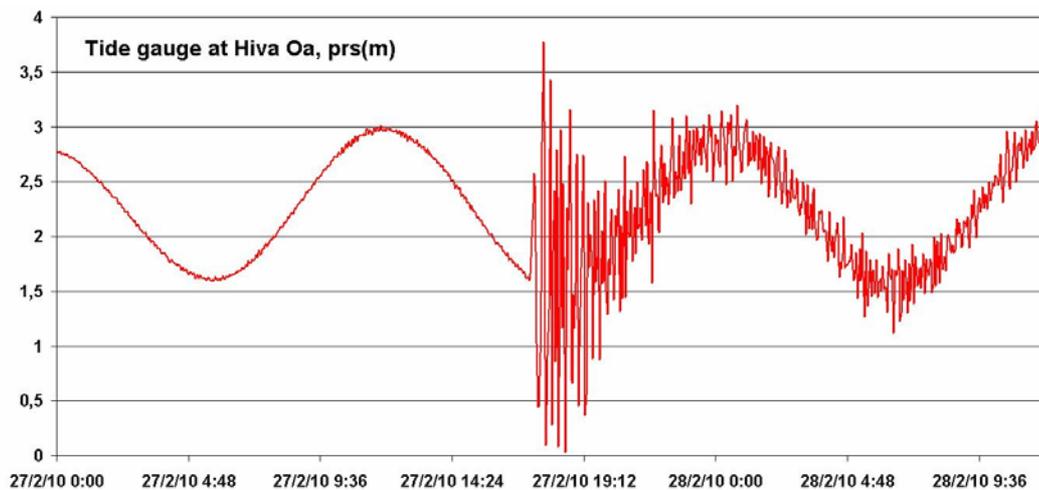
## 1.4 Les événements récents de tsunamis dans le Pacifique

Les informations contenues dans ce paragraphe sont extraites des actualités diffusées sur le site Internet du CEA/DASE<sup>3</sup>.

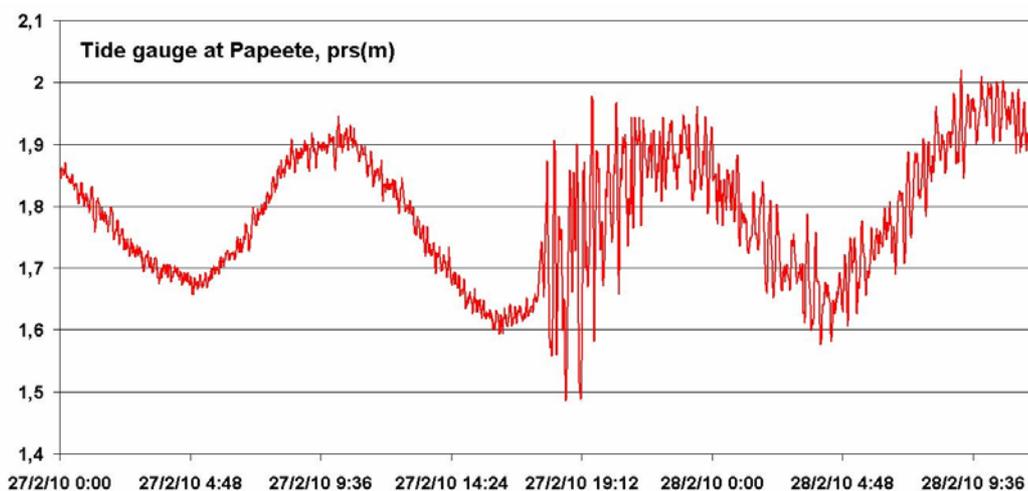
### [01-03-2010 : Séisme de magnitude Mw=8,8 du Chili \(115 km au NNE de Concepción\) du 27 Février 2010 et Tsunami trans-Pacifique](#)

Un séisme de très forte magnitude a eu lieu au large des côtes chiliennes, à la confrontation des plaques tectoniques de Nazca et d'Amérique du Sud. Ce séisme a généré un tsunami important ayant traversé l'ensemble de l'océan Pacifique avec des effets notables sur l'île de Juan Fernandez, aux Marquises et au Japon.

[http://www-dase.cea.fr/actu/dossiers\\_scientifiques/2010-03-01/index.html](http://www-dase.cea.fr/actu/dossiers_scientifiques/2010-03-01/index.html)



<sup>3</sup> Voir [http://www-dase.cea.fr/vie\\_scientifique/som\\_dossier.php](http://www-dase.cea.fr/vie_scientifique/som_dossier.php).



**Enregistrements marégraphiques à Hiva-Oa et Papeete (source : CEA-CPPT)**

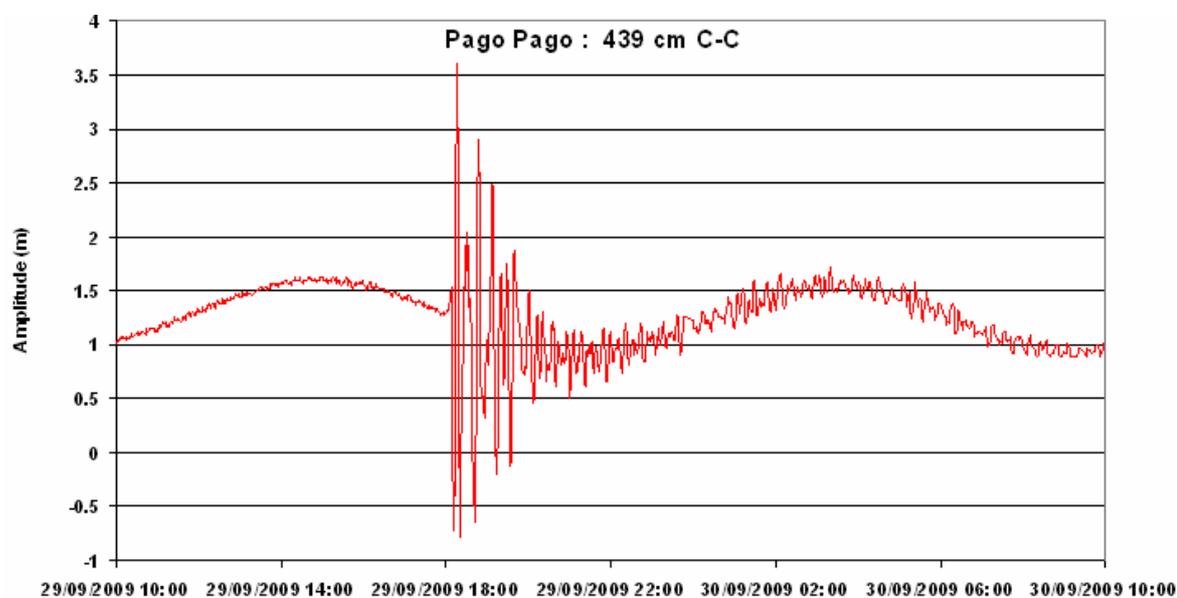
Selon La Dépêche de Tahiti, il a été observé un maximum de 30 cm sur l'île de Rikitea, une première vague de 1 m à Hiva-Oa suivie d'une série de vagues plus importantes d'une hauteur de 4 m à Atuona et une vague de 1,50 m sur l'île de Nuku-Hiva. Une hauteur de plus de 3 m a également été reportée sur l'île de Juan Fernandez au large du Chili.

Au Japon, il a également été reporté une hauteur maximale de 1,50 m ayant provoqué une inondation importante dans le port de la ville de Shichigahama au nord du Japon.

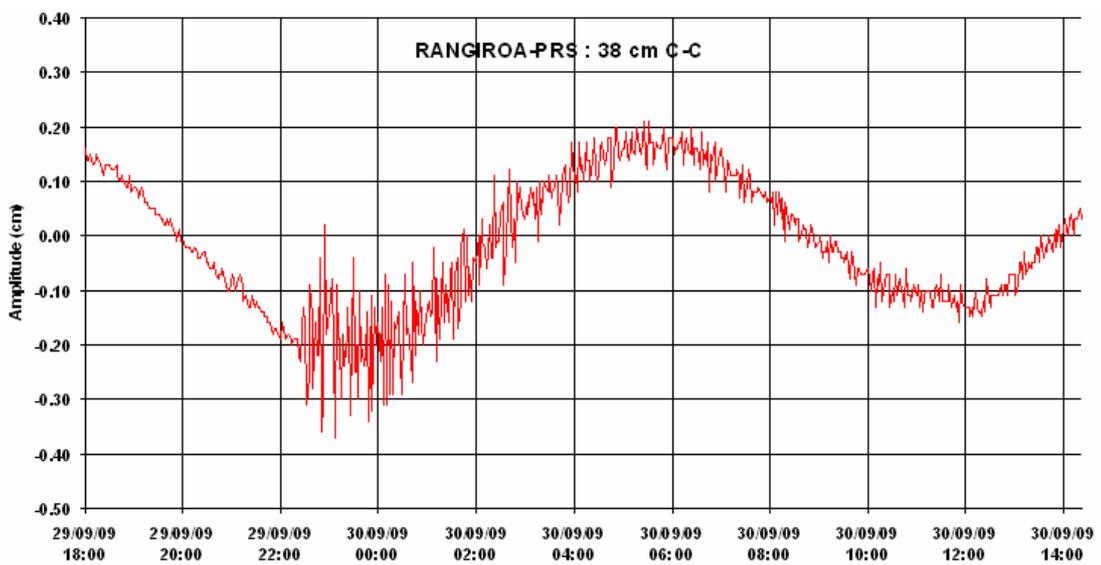
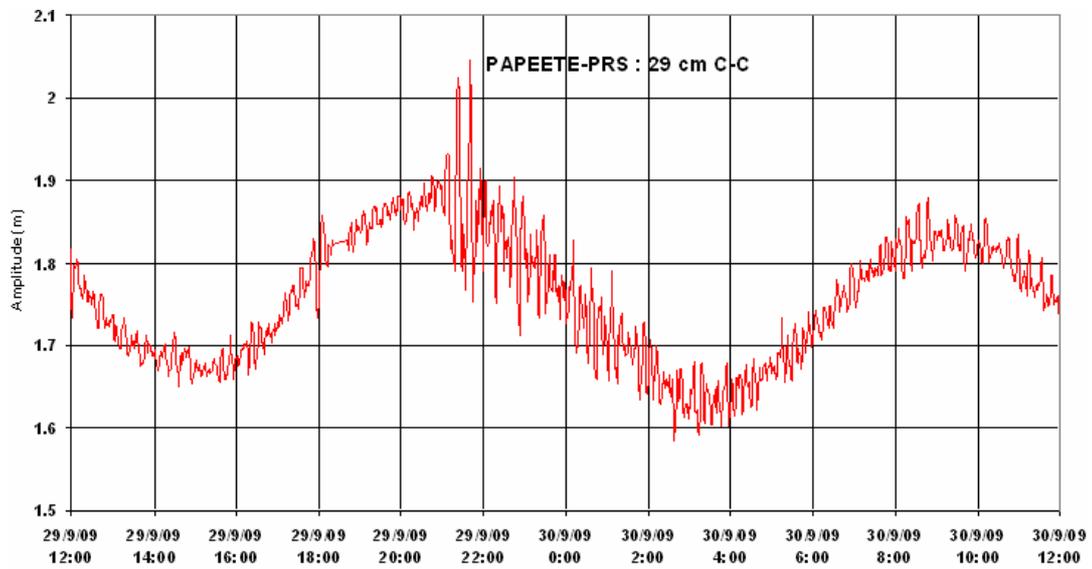
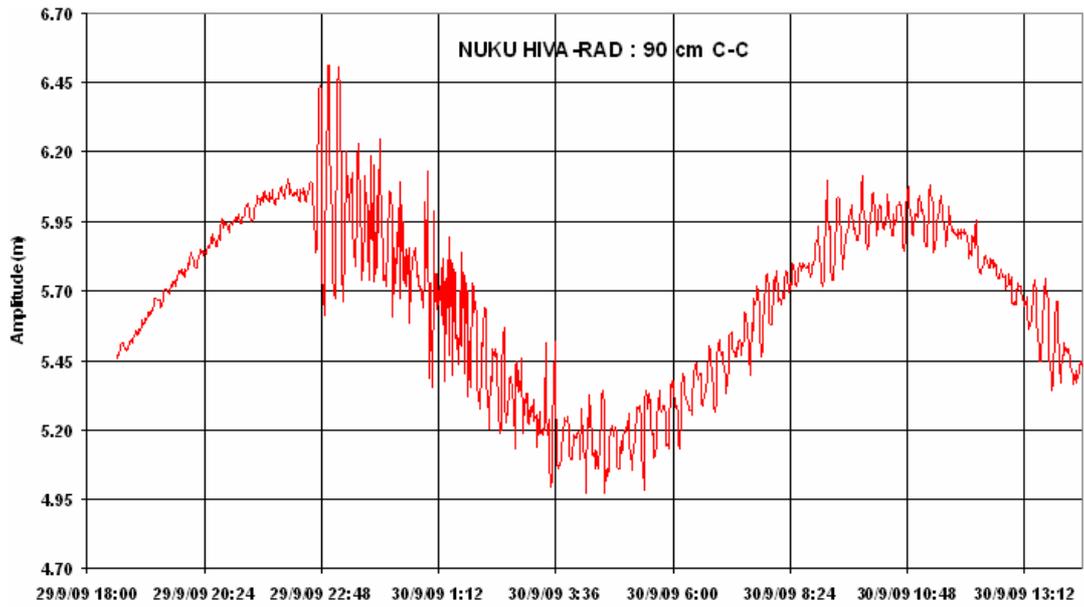
[30/09/2009 : Séisme de magnitude Mw=8,2 des îles Samoa \(Pacifique\) du 29 Septembre 2009](#)

Un séisme de forte magnitude a eu lieu le 29 septembre à 17h48 heure TU à 160 km au sud des îles Siumu et Apia (Archipel des Samoa).

[http://www-dase.cea.fr/actu/dossiers\\_scientifiques/2009-09-30/index.html](http://www-dase.cea.fr/actu/dossiers_scientifiques/2009-09-30/index.html)



**Amplitudes crête à creux du tsunami enregistrées aux stations marégraphiques de Pago Pago et Apia aux îles Samoa (source : CEA-CPPT)**

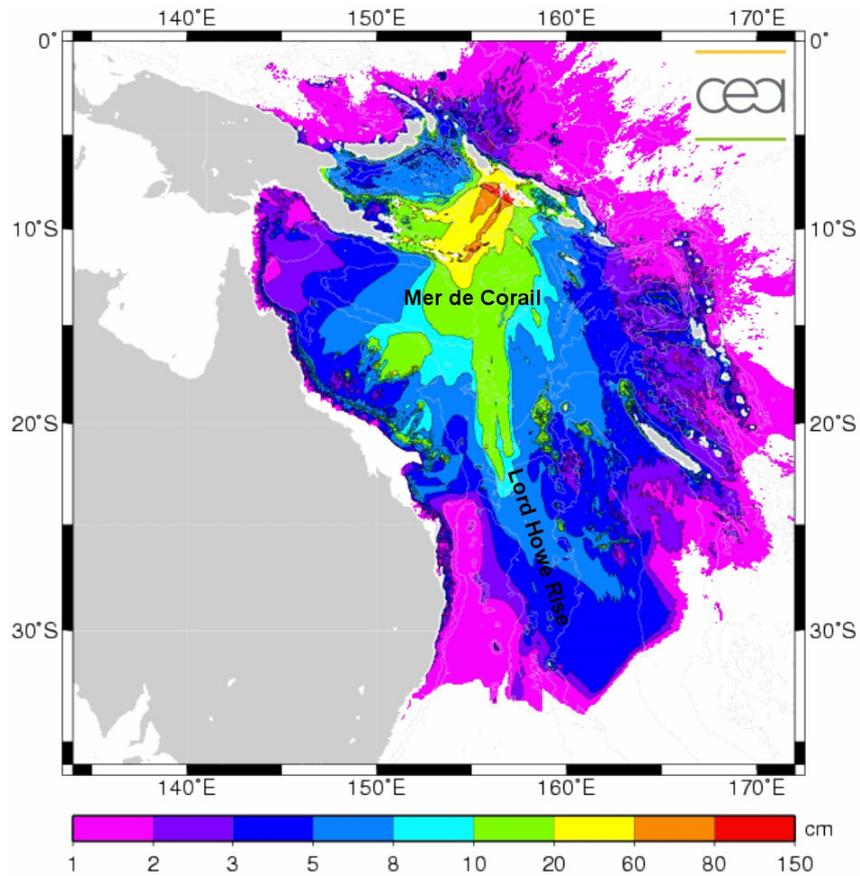


*Amplitudes crête à creux du tsunami enregistrées aux îles Marquises (Nuku-Hiva et Hiva-Oa), à Tahiti (Papeete) et à Rangiroa (archipel des Tuamotu) (source : CEA-CPPT).*

01/04/2007 : séisme et tsunami aux îles Salomon

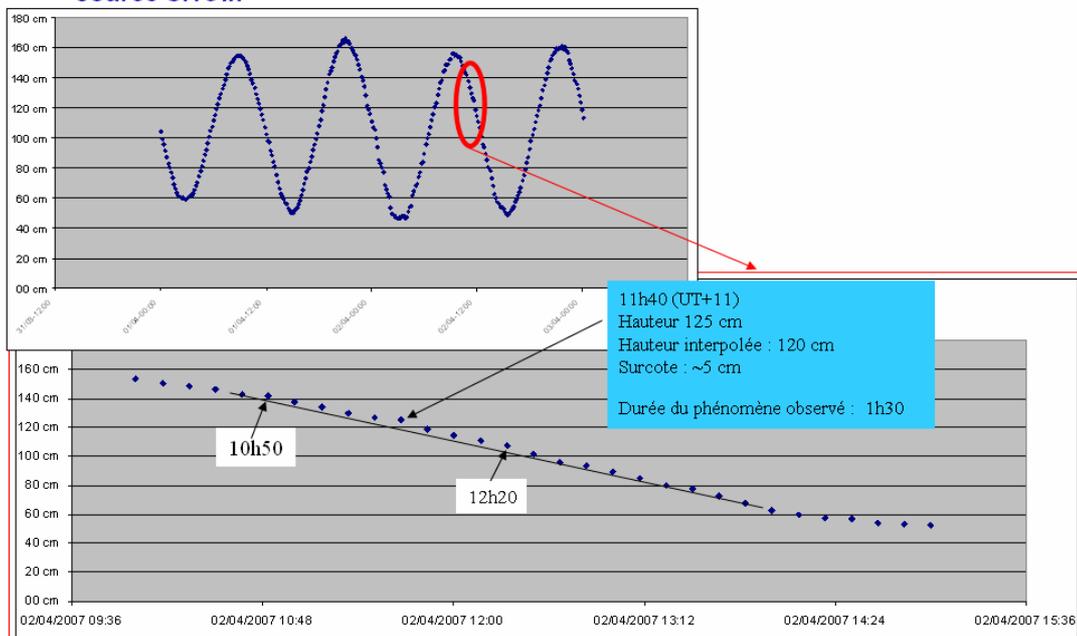
Un séisme de magnitude Mw 8,1 s'est produit le 1<sup>er</sup> avril 2007 à 20 h 39 min 56 s TU, sur la zone de subduction des îles Salomon.

[http://www-dase.cea.fr/actu/dossiers\\_scientifiques/2007-04-01/index.html](http://www-dase.cea.fr/actu/dossiers_scientifiques/2007-04-01/index.html)



*Simulation des hauteurs maximales d'eau atteintes après 5 h de propagation. Les hauts fonds du sud de la mer de Tasmanie semblent avoir capturé une bonne part de l'énergie. (source : CEA/DAM).*

**Relevés marégraphiques en baie de Numbo du 2 avril 2007**  
source SHOM

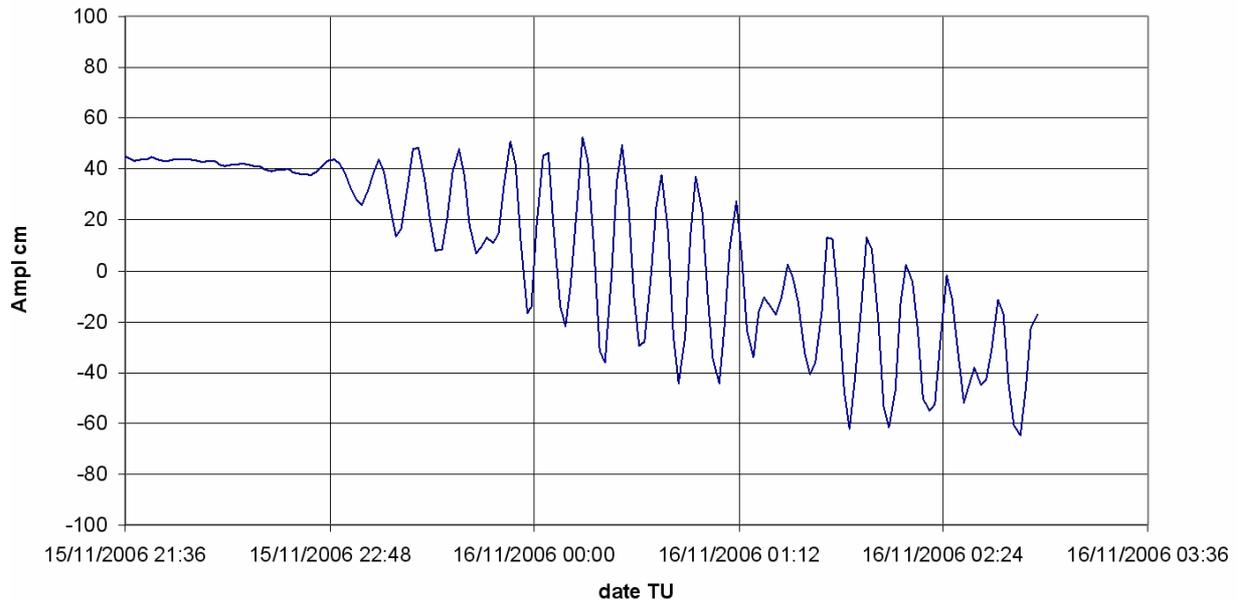


L'analyse en temps différé des données du marégraphe de Nouméa (Numbo) ne donne pas d'observation intéressante du phénomène, notamment en raison de la cadence d'acquisition alors adoptée, de la durée d'intégration et de la localisation du site.

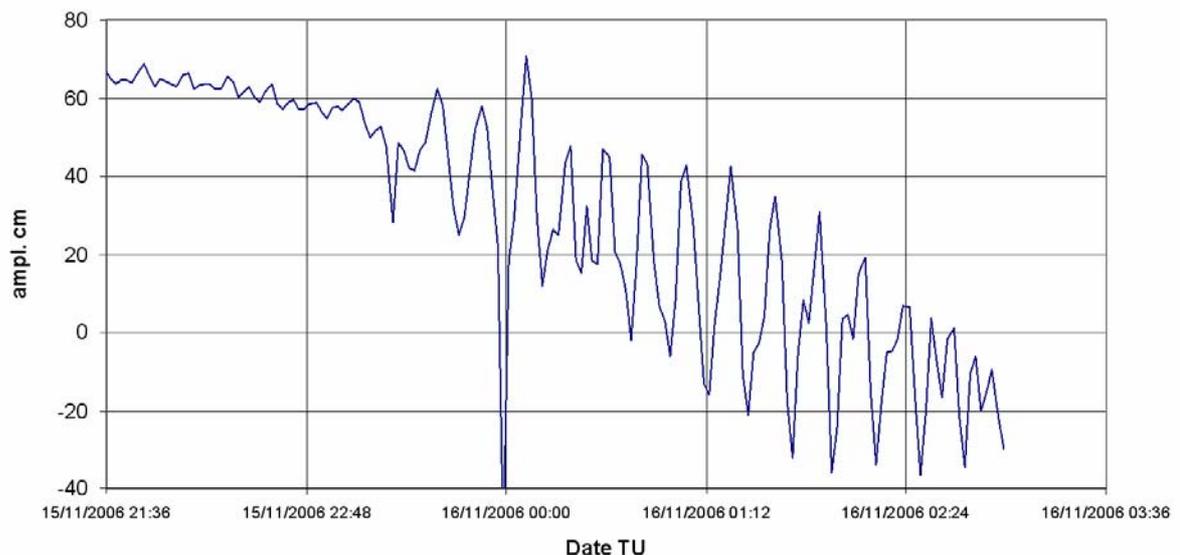
[15/11/2006 : séisme et tsunami aux îles Kouriles](#)

Le 15/11/2006 à 11h14 Temps Universel, un fort séisme s'est produit aux îles Kouriles au nord de l'Océan Pacifique.

**marégramme de Nuku Hiva Kuril 15 nov 2006**



**maregramme de Hiva Oa  
Kuril 15 nov 2006**



*Marégrammes enregistrés aux Marquises, dans les baies de Taiohae à Nuku-Hiva (Source PTWC/NOAA) et Tahauku à Hiva-Oa (CEA/DASE - PTWC/NOAA). A Taiohae, l'amplitude est de 90 cm environ, à Tahauku, 60 cm. (source : CEA/DAM).*

## 1.5 Un besoin de densification du réseau

Il faut distinguer :

- les stations de détection (proche de la source sismique – première détection), délai de transmission minimal 5 à 6 minutes ou mieux, robustesse des télécommunications, redondance des capteurs (Radar + pression) ;
- les stations de surveillance (en champ lointain – pour le suivi – modélisation ultérieure, le suivi et l’annulation de l’alerte).

### 1.5.1 Nouvelle-Calédonie

Le besoin d’installation de marégraphes sur la côte est de la Nouvelle-Calédonie a été considéré dès avril 2007, suite au tsunami des îles Salomon et alors que se mettait en place un système d’alerte en Australie. Une mission de reconnaissance a alors été réalisée par le CEA et le Haut-commissariat de la République (HCR) fin juillet 2007 (rapport en référence [6]).

Les tsunamis historiques ont été observés au XIX et XX siècles sur les îles de Lifou, Ouvéa, Maré et dans les ports de la côte est, Hienghène, Thio : c’est dans tous ces ports et également au sud des Vanuatu qu’il est recommandé d’installer des marégraphes ainsi que quelques stations en eau profonde.

### 1.5.2 Polynésie française

En 2006, une première demande est déposée par l’observatoire géodésique de Tahiti de l’UPF dans le cadre du réseau POGENET (POLynesian GEodetic NETwork) de surveillance géodynamique locale et globale de la Polynésie française auprès de programmes de recherche intégrés (PRI) État – Polynésie française et vise à l’acquisition de 2 marégraphes (Rapa dans l’archipel des Australes et Hao dans l’archipel des Tuamotu) et 4 GPS (Global Positioning System).

Cette demande s’inscrivait principalement dans le suivi des variations à long terme du niveau de la mer ; elle a alors permis d’initier l’installation de nouveaux marégraphes et ce projet s’est consolidé et étendu avec la participation du CEA/LDG, du SHOM et de la direction de la défense et de la protection civile (DDPC).

## 1.6 Le cadre de développement du réseau

Dans les territoires français du Pacifique, des actions volontaristes de mise en place d’un système de prévention de l’aléa et du risque tsunami se sont ainsi développées. En Polynésie française, le HCR a demandé au SHOM, au CEA/LDG et à la DDPC de définir un plan d’installation de marégraphes, conjointement à la mise en place d’un réseau de sirènes destinées à l’alerte des populations. L’UPF a profité de la dynamique pour valoriser une thématique de recherche de surveillance du niveau moyen des mers en proposant d’équiper les sites marégraphiques de GPS permanents.

MM. Musson et Schindélé se sont rendus en 2007 en Nouvelle-Calédonie et à Wallis et Futuna pour évaluer les risques liés à l’aléa tsunami et définir l’implantation de stations de mesure du niveau de la mer.

Depuis, des actions ont été entreprises pour financer ces réseaux notamment grâce à l’appui de la délégation générale pour l’outre-mer (DéGéOM), pour identifier précisément les sites d’installation des marégraphes en particulier dans un souci de pérenniser les installations, pour conduire les achats nécessaires et pour installer les équipements.

Par ailleurs en juillet 2010, la DéGéOM, la direction de la sécurité civile (DSC du ministère de l’intérieur, de l’outre-mer, des collectivités territoriales et de l’immigration) et la direction générale de la prévention des risques (DGPR) ont confirmé leur volonté de définir un projet d’installation et de maintenance d’un réseau marégraphique dans le Pacifique sur la période 2011-2015. Mais en novembre 2010, la DSC a indiqué qu’elle ne pourrait respecter ses intentions dans la mise en place du réseau de marégraphes de surveillance et d’alerte tsunami dans le Pacifique, ainsi que pour sa maintenance.

## 1.7 Sites à équiper

En Nouvelle-Calédonie, les sites retenus par la mission Musson-Schindélé étaient : Hienghène, Touho, Thio, Ouinné, Ouvéa, Lifou et Maré.

A Wallis et Futuna, il était prévu d’installer un marégraphe sur chaque île.

En Polynésie française, les sites de Tubuai, Rangiroa, Huahine, Vairao (Tahiti), Rikitea (Gambier), Makemo, Rurutu, Ua-Pou et Bora-Bora ont été retenus pour disposer de deux sites par archipels et compléter le réseau initial composé de Papeete (Tahiti), Nuku-Hiva, Hiva-Oa et Mangareva <sup>4</sup>(Gambier).



*En bleu, les stations françaises avec en gras les stations installées.*

## 1.8 Financement du réseau

Le SHOM a répondu favorablement aux sollicitations d'installation des marégraphes et de leur maintenance sur la base d'un financement en partie externe des coûts de ces opérations.

Le projet a donc été financé dans un premier temps par les différents partenaires : le secrétariat permanent pour le Pacifique (SPP – fonds Pacifique), la DéGéOM, le gouvernement de Nouvelle-Calédonie, l'UPF et le SHOM.

## 1.9 Solutions technologiques possibles

Pour la mise en place d'une station permanente de surveillance du niveau de la mer, deux axes sont à envisager, même si l'un ou l'autre des objectifs peuvent être privilégiés *in fine* : l'aléa tsunami et le suivi du niveau moyen de la mer.

L'aspect **aléa tsunami** requiert principalement robustesse et intégrité des mesures. Il est nécessaire de réaliser alors une double mesure issue de capteurs Radar (Radio detecting and ranging) et barométrique afin d'assurer une redondance. Des mesures relatives répondent au besoin. Une transmission *quasi* temps réel est nécessaire. Pour le système de détection et d'alerte aux populations, cette fonction est essentiellement utilisée pour la connaissance du phénomène (réponse des sites à des ondes de tempête ou à un tsunami) et pour la levée de l'alerte. L'alerte est déclenchée notamment grâce aux mesures de sismographes qui détectent le séisme qui pourrait générer un tsunami.

L'aspect **niveau moyen** requiert en revanche 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 ITRS (International Terrestrial Reference System) : 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 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

<sup>4</sup> 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.

involontaires). Des compromis sont possibles selon les sites.

Le graphique ci-dessous présente un synoptique d'une telle station :

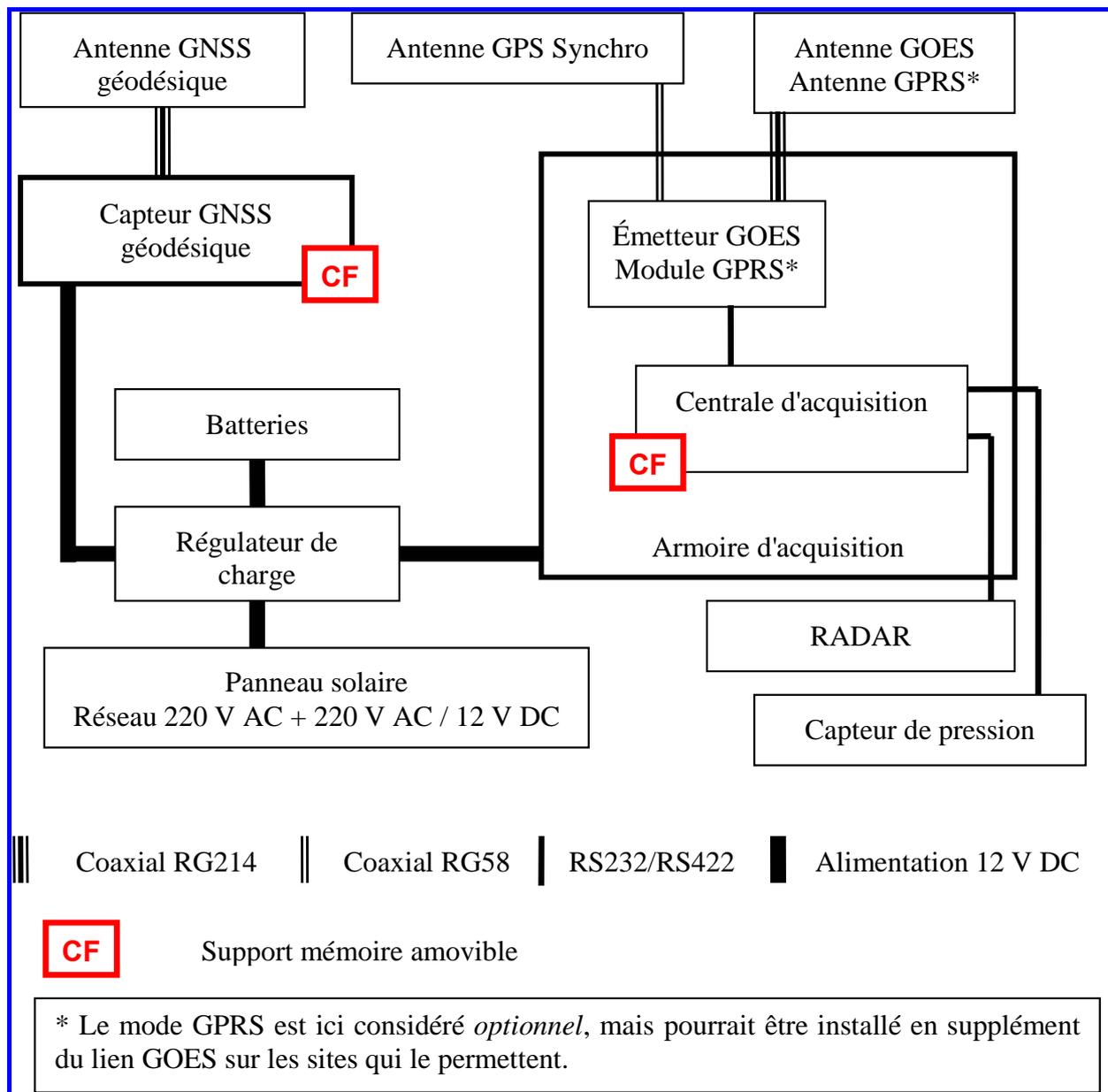


Figure 1 – Exemple d'architecture d'une station de surveillance du niveau de la mer

Sur les sites reconnus par le SHOM, trois solutions ont donc été envisagées :

- **solution 1 (optimale)** : local dédié avec les équipements sur le toit, les murs et à l'intérieur. Un exemple de ce type de station est présenté ci-après ;
- **solution 2 (réduite)** : l'ensemble des équipements est intégré sur un mât (Radar, système d'acquisition...) et un pylône acier ou piler béton (GPS géodésique). Elle présente l'avantage d'être moins lourde en terme d'intégration mais en revanche présente des faiblesses météorologiques de stabilité et stationnarité et est plus vulnérable aux dégradations naturelles et volontaires ;
- **solution 3 (intégrée)** : l'ensemble des équipements est intégré à des structures existantes (complétée éventuellement par un pilier/pylône pour le GPS). Pouvant nécessiter des aménagements spécifiques et donc possiblement plus lourds que la solution 2, elle est en revanche plus stable et moins vulnérable.



Ci-dessus

Sur le toit : une antenne Yagi de transmission vers un satellite GOES, un panneau solaire et deux antennes GPS.

Sur le mur : un capteur Radar et une échelle de marée (le capteur barométrique n'est pas installé).

Ci-contre

A l'intérieur : la centrale d'acquisition, le capteur GPS et l'énergie électrique.



*Exemple de solution 1*

Suivant les sites, l'antenne GPS géodésique peut être installée sur un toit ou sur un pylône, comme suggéré ci-dessous :

Un pylône intégré sur une pile de béton armé. L'ordre de grandeur de la pile doit être de  $\frac{1}{4}$  à  $1 \text{ m}^3$ . En cas de dégagement suffisant, le pylône peut-être réduit au minimum, en conservant le dispositif de calage/fixation.



Un pylône à fixation latérale. Facilement intégrable, il présente une très bonne stationnarité mais est assez vulnérable.

Un détail de l'installation sur un pylône : le dispositif de calage horizontal de l'antenne (dans ce cas là, la répétabilité du positionnement est à contrôler).



#### *Intégration d'une antenne GPS.*

Afin de faciliter l'acquisition des stations de suivi du niveau de la mer, le SHOM a établi des spécifications techniques et a défini les caractéristiques de l'abri (voir annexes 1 et 2).

## 1.10 Définition des opérations de suivi et de maintenance du réseau

En juillet 2008, le SHOM a précisé les opérations de suivi et de maintenance nécessaires à l'entretien du réseau, sur la base de ce qui est également réalisé pour le réseau RONIM :

- contrôle exhaustif de la station de mesure du niveau de la mer : rattachement géodésique par GPS, nivellement orthométrique complet de tous les repères, calage du marégraphe au zéro hydrographique, vérification métrologique du marégraphe (test de Van de Casteele), mise à jour de la fiche d'observatoire :
  - o à l'installation,
  - o tous les trois ans ;
- 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) destiné 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. Cela comprend également :
  - o l'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...,
  - o le nettoyage de l'échelle de marée et du capteur barométrique,
  - o la mise à jour des logiciels des équipements,
  - o la mise à jour des configurations et des paramétrages des équipements,
  - o le formatage des mémoires (internes et supports amovibles),
  - o le test de bon fonctionnement après une relance complète de la station ;
- 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 marégraphique 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.

La commission océanographique intergouvernementale de l'UNESCO (UNESCO/COI) recommande d'effectuer cette tâche tous les ans pour le réseau GLOSS (Global Sea Level Observing System). 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 (voir spécifications pour l'installation, l'entretien et le retrait de stations de mesure du niveau de la mer sous <http://tidesandcurrents.noaa.gov/pub.html>). Le NTFA effectue une opération complète de maintenance au plus tous les 18 mois pour les systèmes installés hors de l'Australie.

## 1.11 Travaux réalisés

Pour uniformiser les travaux d'installation à réaliser, des instructions techniques (IT, voir annexe 3) destinées aux agents du GOP ont été rédigées par le SHOM : elles ont été mises en œuvre lors des opérations d'intégration des stations de mesure du niveau de la mer.

La suite du rapport illustre par quelques exemples choisis dans chaque bassin, les travaux réalisés par le GOP dans le Pacifique pour constituer le réseau de marégraphes :

- reconnaissances nécessaires pour définir la solution à installer et pour appréhender l'environnement de fonctionnement de la station du niveau de la mer,
- installations qui ont concrétisé la mise en œuvre du réseau,
- et opérations de maintenance indispensables à l'entretien de ce réseau sur le long terme.

## 2 RÉSEAU DE NOUVELLE-CALEDONIE

A la suite du rapport Musson-Schindélé, le Haut-commissariat de la République en Nouvelle-Calédonie a sollicité le SHOM pour l'installation des équipements, pour définir les opérations de maintenance nécessaires et mettre en place leur financement. Le financement nécessaire aux installations est assuré pour partie par la DéGéOM et par le gouvernement de la Nouvelle-Calédonie.

Afin de progresser dans la mise en place du réseau, le GOP, antenne du SHOM dans le Pacifique, a procédé à la reconnaissance de sites :

- d'abord en avril 2009 pour une première visite rapide des sites de Hienghène, Touho et Thio<sup>5</sup> ;
- en novembre 2009 à Maré<sup>6</sup> et Lifou<sup>7</sup> en compagnie de la direction de la sécurité civile en Nouvelle-Calédonie (DCS NC) ;
- en juillet 2010 à Ouinné<sup>8</sup> et Thio<sup>9</sup> en compagnie de la DCS NC ;
- en septembre 2010 à Touho<sup>10</sup> et Hienghène<sup>11</sup> avec la DCS NC.

Chaque reconnaissance a fait l'objet d'un compte-rendu et les actions correspondantes ont été initiées : demande d'autorisation auprès de la mairie concernée, demande d'implantation sur le domaine public maritime auprès de la province concernée, acquisition des équipements et éléments d'intégration nécessaires, lancement de la construction des abris, demande d'identifiants aux gestionnaires des satellites GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite) du SMT (système mondial de transmission) à savoir la NOAA pour la Polynésie française et la JMA pour la Nouvelle-Calédonie et Wallis et Futuna...

### 2.1 Ouinné : reconnaissance en juillet 2010

Le réseau de marégraphes pour la surveillance du risque tsunami en Nouvelle-Calédonie prévoit une station à Ouinné (rapport Musson-Schindélé), dans une baie encaissée et ouverte vers le large, propice à l'observation d'un tel phénomène. Pour décider du site d'installation retenu, une mission du SHOM (IPETA Serge Lannuzel et IETA Yves-Marie Tanguy) accompagnée de la DCS NC (Marie-Joëlle Vendegou) s'est rendue sur place le 12 juillet 2010.

Une présentation du risque tsunami et du projet d'installation a eu lieu au profit de M. Puech, responsable logistique de la mine Montagnat (société minière Georges Montagnat – SMGM), qui a chaleureusement accueilli l'équipe de reconnaissance et a conduit la visite des lieux.

#### 2.1.1 Site retenu

Le site de la mine n'est accessible que par rotation aérienne (rotations organisées directement par la SMGM) : aucune route terrestre n'est ouverte jusqu'à la baie de Ouinné. Aucune dégradation volontaire n'est donc envisageable ; aussi, l'abri habituellement requis pour protéger la station marégraphique n'est pas indispensable et une installation légère (type mâtèreau) est possible.

Les infrastructures portuaires propres à accueillir un marégraphe permanent sont :

- la marina du village de Ouinné ;
- le wharf de transbordement.

---

<sup>5</sup> Compte-rendu n°26 SHOM/GOP/BHPF/NP du 7 avril 2009.

<sup>6</sup> Compte-rendu n°298 SHOM/GOP/NP du 16 novembre 2009.

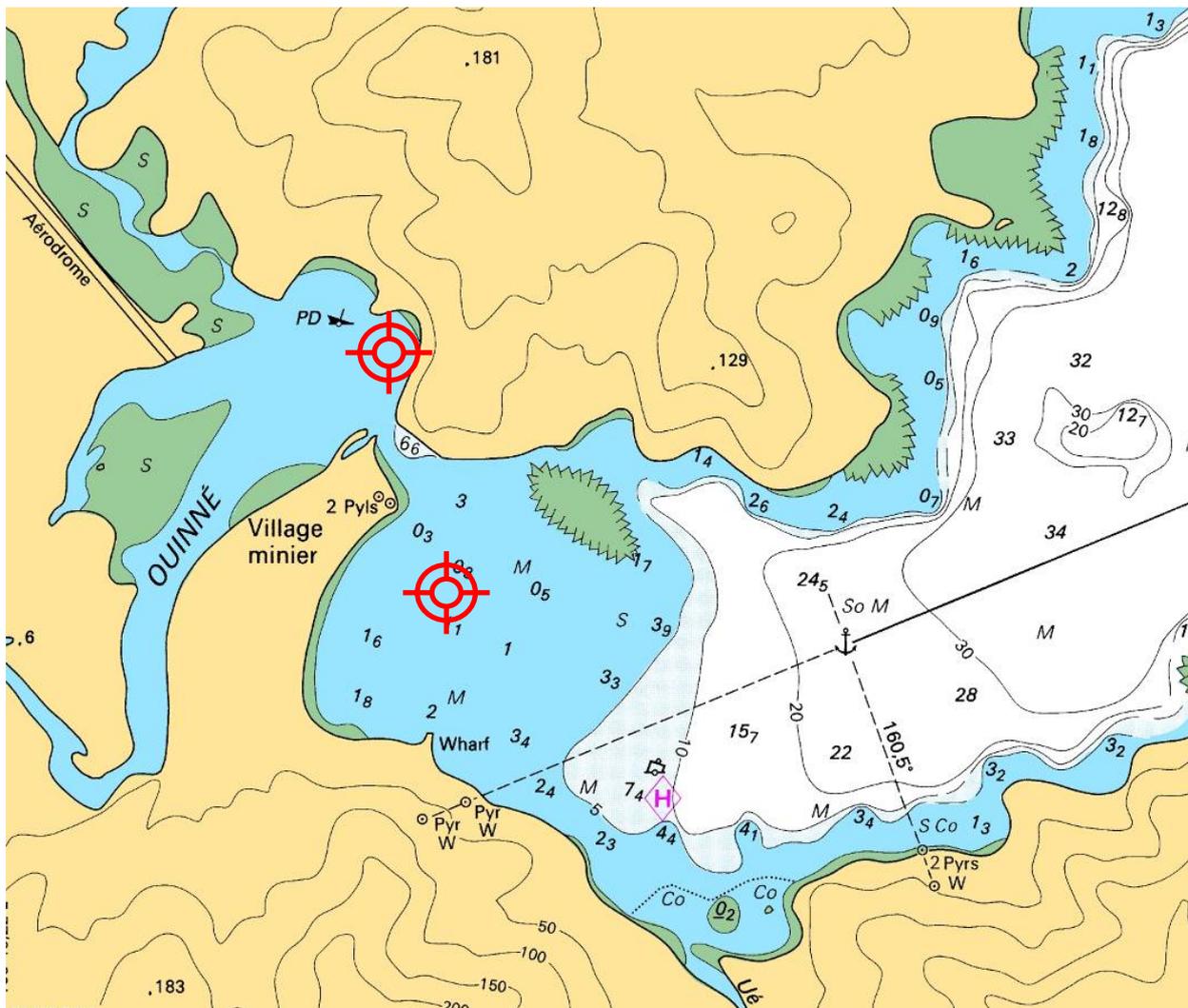
<sup>7</sup> Compte-rendu n°305 SHOM/GOP/NP du 17 novembre 2009.

<sup>8</sup> Compte-rendu n°148 SHOM/GOP/NP du 15 juillet 2010.

<sup>9</sup> Compte-rendu n°146 SHOM/GOP/NP du 7 juillet 2010.

<sup>10</sup> Compte-rendu n°209 SHOM/GOP/NP du 4 octobre 2010.

<sup>11</sup> Compte-rendu n°208 SHOM/GOP/NP du 4 octobre 2010.



*Les deux sites envisagés sur un extrait de la carte marine 7073.*



*Marina*

La marina présente les nombreux inconvénients suivants, notamment ceux relatifs à sa situation à l'embouchure d'une rivière :

- fausse détection lors des crues de la rivière Ouinné ;
- instabilité du paramètre salinité pour le capteur de pression ;
- troncs charriés par la rivière ;
- infrastructure légère surplombant l'eau à moins de créer une adaptation sur l'enrochement qui est inondé lors des crues.



*Enrochement à l'extérieur de la marina*

L'avantage principal de la marina réside dans le faible clapot quelque soit le vent, notamment lorsque les alizés (sud-est) soufflent.



*Wharf de transbordement*

Le site du wharf de transbordement offre les avantages suivants :

- la hauteur d'eau y est suffisante quelque soit la marée ;
- pouvant supporter des camions de plusieurs centaines de tonnes, cette structure est particulièrement stable ;
- remontés sur la tour de guet, les aériens de la station marégraphique seraient 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.



*Position possible du Radar sur le wharf de transbordement.*

L'inconvénient majeur de ce site réside dans le clapot présent lorsque les alizés soufflent : il pourrait bruyé les mesures du marégraphe.

Le choix d'un site résultant d'un compromis, une installation sur le wharf de transbordement a été retenue, moyennant les aménagements décrits ci-après.

### **2.1.2 Eléments d'intégration**

Afin d'écarter au maximum le capteur Radar du ressac formé sur l'enrochement, une patte de fixation sera soudée sur la poutre du wharf à une distance de 2 mètres. M. Puech a précisé que tout le matériel de soudure nécessaire est présent dans les ateliers du site : le mécanicien soudeur du GOP pourra l'emprunter lors de l'installation.

Lors du transbordement du minerai par camions, des tôles de protection évitent toute chute de matériaux sur la partie inférieure du wharf. Cependant, afin d'empêcher toute chute sur le capteur Radar, une plaque de protection supplémentaire sera ajoutée au-dessus de son capot. Là aussi des pattes de fixation seront à ajouter (soudure ou vis et écrous sur rambarde) : la plaque (au moins 6 mm) sera vissée pour permettre d'accéder au Radar ultérieurement.



Pour le capteur de pression, la pile du wharf permettra de faire courir aisément le câble ventilé.

La centrale d'acquisition placée sous le wharf sera protégée du soleil et des intempéries. En cas de mauvais temps extrême dans la baie, elle pourrait être soumise aux embruns mais le coffret étanche est prévu à cet effet et 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 satellite.



*Guérite pour installer l'antenne Yagi et les panneaux solaires*

**Nota :** le wharf de transbordement étant une concession privée, M. Puech a rappelé l'accord de principe donné par la SMGM à cette installation d'un marégraphe.

### 2.1.3 Repères

La reconnaissance a été l'occasion de vérifier que des repères de nivellement sont disponibles à proximité. Le site du wharf de transbordement est déjà un observatoire de marée. Le repère « A » de l'observatoire était toujours présent :



Les points géodésiques « GEO1 » et « GEO2 », créés par la société Geomer à l'occasion d'un levé bathymétrique dans la baie, étaient immédiatement accessibles du wharf :



Ces repères de nivellement et géodésiques seront particulièrement utiles pour rattacher l'observatoire de marée. Ces repères terrestres matérialiseront localement les références verticales maritimes (zéro hydrographique, système géodésique, système de nivellement) et permettront de déterminer les décalages entre ces références.

### 3 RÉSEAU DE WALLIS ET FUTUNA

Le réseau de marégraphes pour la surveillance du risque tsunami à Wallis et Futuna prévoit une station pour Wallis et une autre pour Futuna. Une mission de reconnaissance du GOP (IPETA Serge Lannuzel et IETA Yves-Marie Tanguy), accompagnée du chef du service des phares et balises de Wallis et Futuna (Viane Hoatau), s'est rendue à Wallis et à Futuna du 11 au 13 novembre 2009. Une réunion sur le projet a eu lieu à Wallis le 13 novembre 2009 en présence du responsable local de la sécurité civile, Jean-Marie Boutet. Lors des visites protocolaires dans les royaumes de Alo et de Sigave à Futuna, il a été rappelé l'importance de ce projet pour la sécurité des populations. Les chefferies ont donné leur consentement à l'installation de l'équipement.

A l'issue de cette reconnaissance<sup>12</sup>, il a été convenu d'installer une station marégraphique à Leava 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 Leava fin 2010 et les équipements scientifiques ont été achetés en 2010.

Le financement a été mis à disposition du projet en août 2010 après la signature d'une convention SPP – AFD (agence française de développement) Nouméa – HCR Nouvelle-Calédonie.

#### 3.1 Wallis

##### Halalo

Le rapport Musson-Schindélé préconisait pour cette île une installation sur le wharf à l'extrémité du terminal pétrolier d'Halalo. Ce site n'est pas le mieux adapté à l'installation d'un marégraphe permanent :

- dimension et instabilité du wharf en question ;
- accostages très fréquents de petites embarcations ;
- hauteur d'eau autour du terminal insuffisante à marée basse.



De trop lourds travaux d'aménagement seraient nécessaires pour exploiter ce site, aussi il n'a pas été retenu.

##### Mata Utu

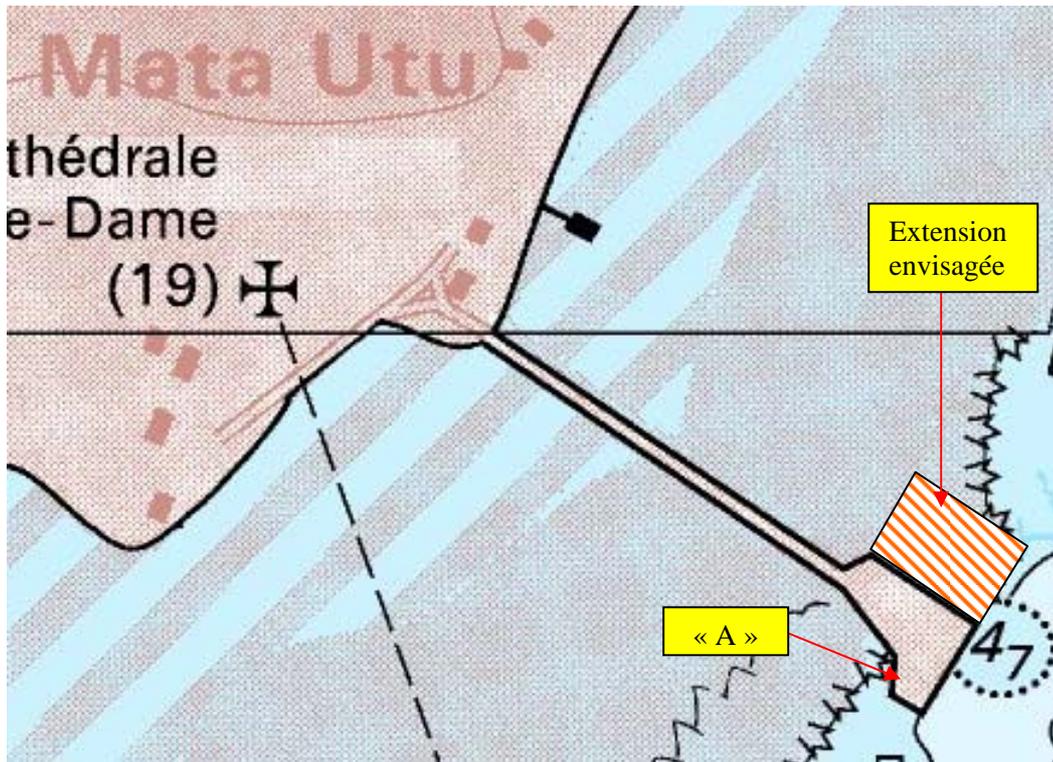
Des travaux d'extension du quai de Mata Utu vers le nord et de création d'une zone sous douane sont prévus entre 2010 et 2011. Cependant, en concertation avec le service des travaux publics de Wallis et Futuna (TP W&F), un site d'installation pour marégraphe avec capteur Radar et marégraphe à pression a pu se dégager lors de cette visite avec les caractéristiques suivantes :

- les embarcations de pêcheurs accostent et s'amarrent uniquement sur la portion de quai

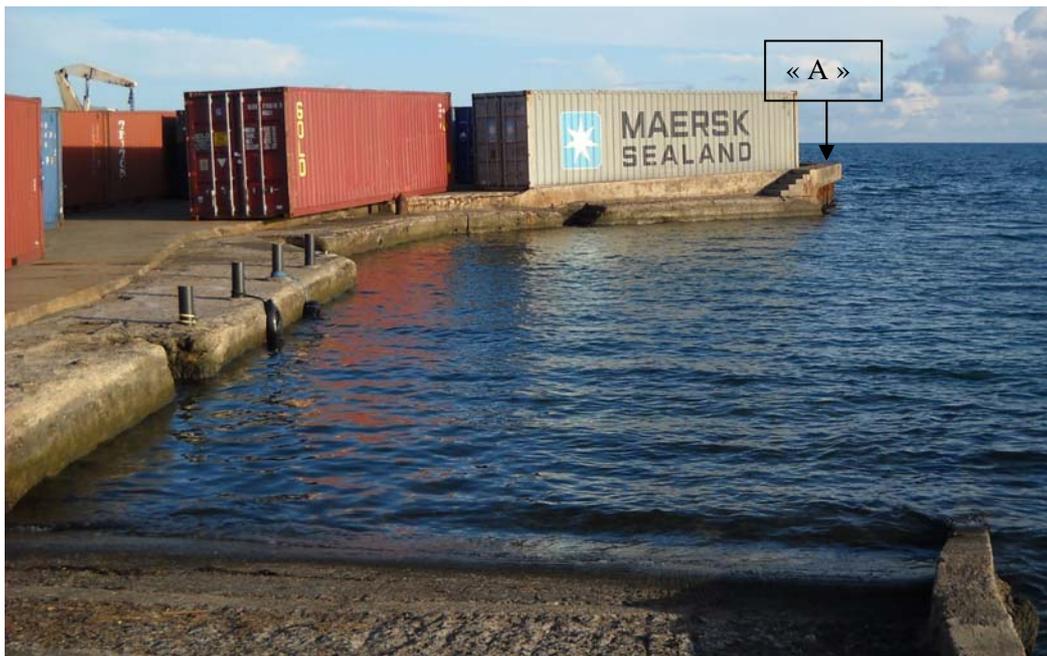
<sup>12</sup> Compte-rendu n°301 SHOM/GOP/NP du 16 novembre 2009.

suivante ;

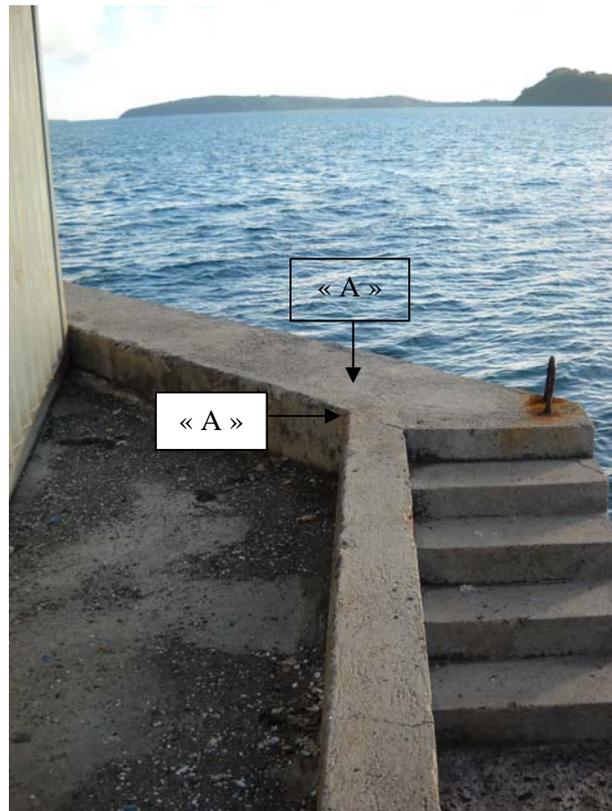
- la hauteur d'eau est suffisante quelque soit la marée ;
- des containers sont stockés sur ce quai, mais la hauteur de l'abri prévu empêchera tout phénomène de masquage ;
- la proximité des douanes assurera une forme de surveillance ;
- si l'implantation d'un GPS de précision est effectuée pour la surveillance du niveau moyen de la mer, la stabilité de ce quai sur enrochement est appréciable ;
- après extension du quai vers le nord, il pourra être envisagé de déplacer l'installation sur la partie nord, comme discuté avec le chef du service des TP W&F.



Extrait de la CM 6876



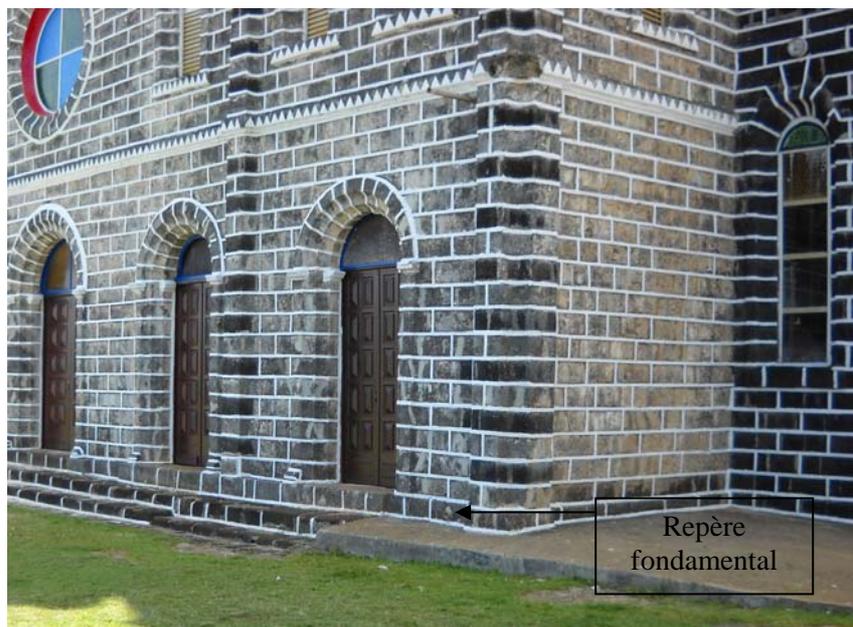
Des travaux simples de rattrapage de niveau seraient nécessaires pour s'aligner sur la poutre de bordée en béton :



*Position du point « A » en GPS naturel : latitude : 13°17'07.2'' S – longitude : 176°10'09.4'' W*

Néanmoins, le financement du projet ayant tardé à se concrétiser, le SPP et la DéGéOM ont décidé de repousser cette installation après les travaux d'extension du quai de Mata Utu, fin 2011. Il a donc été convenu que l'abri serait construit sur cette extension pendant les travaux.

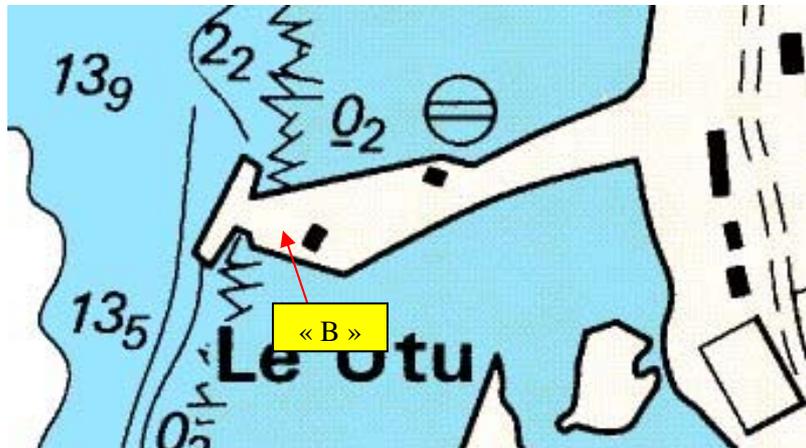
Le repère fondamental de l'observatoire de marée de Mata Utu est scellé sur la cathédrale de Mata Utu. Il a été retrouvé facilement. Il avait été utilisé pour les travaux hydrographiques de mars 2009 à Wallis réalisés par le GOP.



## 3.2 Futuna

### Leava

Le rapport Musson-Schindélé préconisait pour cette île l'installation d'un marégraphe avec uniquement un capteur de pression sur le quai de Leava.



Extrait de la CM7234

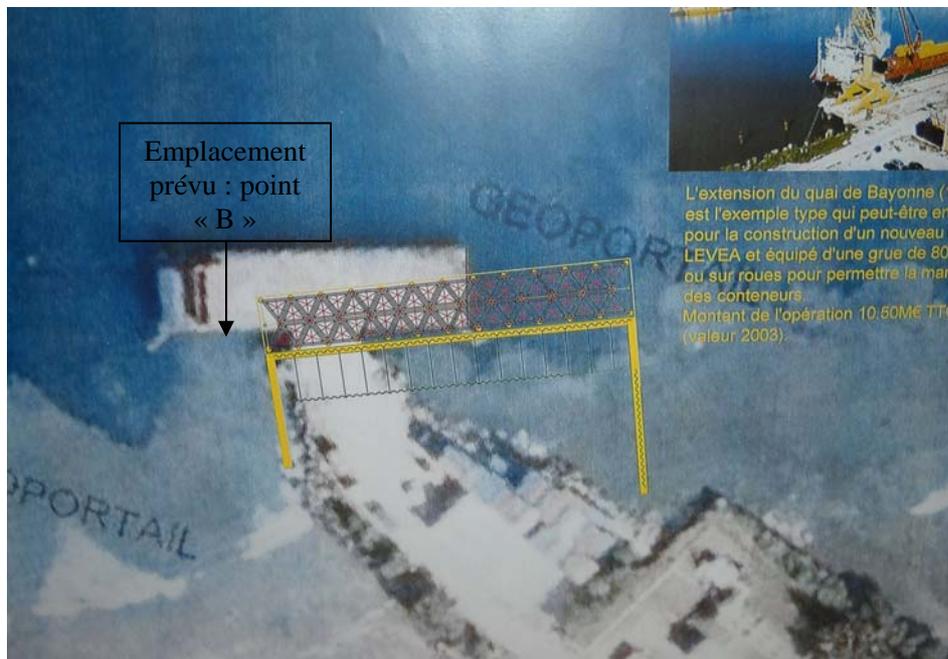
L'institut de recherche pour le développement (IRD) avait installé un tel équipement en 2006 : le câble du capteur de pression courait jusqu'à un « fale » en début de jetée. Suite à des dégradations répétées, l'IRD a abandonné la maintenance de cet équipement et l'a retiré définitivement en 2009. Une cage est toutefois installée sur le fond, et Bernard Pelletier de l'IRD a indiqué que la cage pouvait être utilisée par le projet pour y installer un nouveau marégraphe.

Pour tirer les leçons de cette expérience, il est donc préconisé que :

- la longueur de câble jusqu'au capteur de pression soit la plus courte possible ;
- que ce câble soit enfoui (y compris dans la dalle de béton via un fourreau) ;
- que l'abri qui protégera la centrale d'acquisition ferme convenablement.



De plus, un projet conséquent de réaménagement du quai actuel (platalage bois sur armature métallique fortement oxydée sur piles bétons) est envisagé. Toutefois, à l'époque de la visite, le dossier de financement n'avait pas été déposé et l'aboutissement du projet de construction d'un quai « danois » n'était pas définissable.



Pour tenir compte de ces différentes contraintes, il a été retenu avec les TP W&F la construction d'un abri adossé à celui de la société wallisienne et futunienne d'entreposage des produits pétroliers (SWAFEP) : solution peu coûteuse et au plus proche de la cage immergée de l'IRD qui pourrait resservir à la fixation du capteur de pression. Lors de la construction du quai « danois », les TP W&F préciseront la nécessité de prévoir un emplacement pour une station marégraphique, qui pourra alors inclure un capteur Radar.



*Position du point « B » en GPS naturel : latitude : 14°17'44.7'' S – longitude : 178°09'37.1'' W (une douille SHOM est située sur le toit de l'abri de la SWAFEP)*

Le repère fondamental « C » associé à l'observatoire de marée de Leava n'a pas été retrouvé en début de jetée : il a été demandé aux TP W&F de bien vouloir dégager le ponceau où se situe ce repère de nivellement.

#### **Autres sites envisagés**

La côte, à l'est, est battue par les alizés et n'offre aucune infrastructure.

Plus au sud de l'île, deux sites ont été proposés par les TP W&F :

- aérodrome de Vele : la longueur de câble courant sur la roche serait trop importante (voir cas de l'IRD) :



- mise à l'eau de Vele : une installation directement sur un brise-lames (même aménagé) n'est pas préconisée :



### **3.3 Conclusion**

Les sites de Mata Utu à Wallis et de Leava à Futuna ont été recommandés.

Lors des visites protocolaires dans les royaumes de Alo et de Sigave sur l'île de Futuna, il a été rappelé l'importance de ce projet pour la sécurité des populations. Les chefferies ont donné leur consentement à l'installation de l'équipement.

La station de Futuna sera vraisemblablement à faire évoluer selon les travaux entrepris sur le quai de Leava.

Il a été convenu que l'administration supérieure de Wallis et Futuna se chargerait du suivi des travaux de maçonnerie nécessaires (commande auprès d'un artisan ou en régie).

## 4 RÉSEAU DE POLYNESIE FRANÇAISE

Ce territoire était, en 2007, équipé de quatre stations de suivi du niveau moyen des mers. La DDPC a alors jugé nécessaire 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 ;
- 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 et à Huahine en avril 2010 ;
- 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 ;
- l'instanciation de la station installée à Papeete afin de permettre d'avoir une connaissance de ce marégraphe installé par l'université de Hawaii.

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

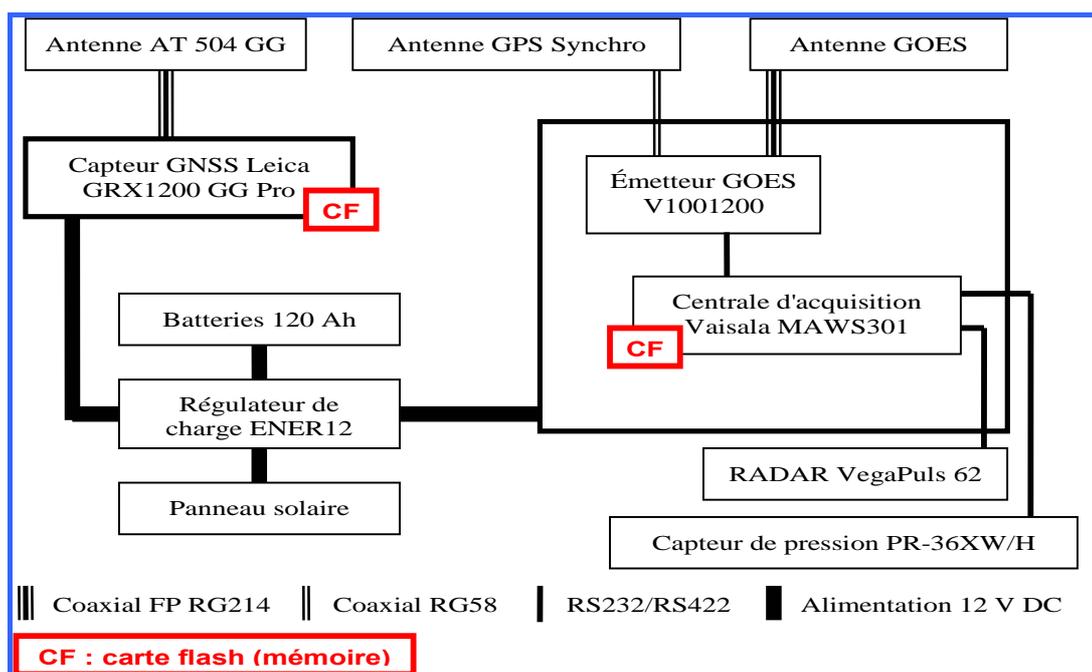
L'exemple de Rangiroa est décrit ci-après afin d'illustrer la phase d'installation d'une station.

### 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 (IETA Yann Dupont, PM Alain Hamel, QM Karim Bchini), complétée par une intervention de l'IETA Dupont le 13 juillet 2009 pour 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 répondre à ces deux besoins, le système installé comprend les éléments suivants :



*Synoptique du système adapté au contexte de Rangiroa.*

La configuration initiale est décrite dans le tableau suivant :

Équipement	Type	S/N	Firmware	Configuration
Radar	Vega VegaPuls62	12669541	3.22	Défaut
Capteur de pression	Keller PR-36XW/H	43855	/	4-20 mA
Centrale d'acquisition	Vaisala MAWS301	C461006	6.00	TSU_YD51
Émetteur GOES	Vaisala V1001200	6396	/	/
Récepteur GNSS*	Leica GRX1200 GG Pro	355635	5.62	Dédiée
Antenne GNSS	Leica AT504 GG LEIS	200660	/	/
Régulateur de tension	Total ENER 12	05117640	/	/

\* Global Navigational Satellite System

La photo ci-dessous présente une vue générale de la station en février 2009 :



*Abri avec les équipements de la station (photo juillet 2009)*

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.

#### **4.1.1 Description du système**

##### **Capteur Radar Vega VegaPuls62**

Il est intégré sur un support spécialement réalisé. Il est équipé d'un affichage digital et protégé par un dôme. La valeur indiquée sur son affichage est la valeur mesurée entre son zéro instrumental et la surface de l'eau. Il n'est cependant pas aisé de contrôler cette mesure compte tenu de l'emplacement. Celui-ci a pourtant été retenu pour limiter au maximum la vulnérabilité de l'équipement.

Ce capteur est positionné verticalement à l'aide d'une bulle et a été nivelé pour déterminer la coté de son zéro instrumental par rapport au zéro hydrographique. Le plan de référence du capteur est la surface d'appui du support.



*Radars installé sur l'abri*

#### **Capteur barométrique Keller PR-36 XW**

Il est intégré à l'intérieur d'un tube rigide en PVC (diamètre 40 mm) fixé en son extrémité :



*Marégraphe à pression*

Ce tube est ensuite fixé au quai, ces fixations 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 qui remonte dans le câble jusqu'à la station d'acquisition (tube ventilé). Une correction polynomiale prend en compte les variations de température. Ces paramètres sont estimés en usine ; l'utilisateur n'a pas la main simplement sur leurs valeurs.

La mesure effectuée est une mesure analogique différentielle de la sortie du capteur comprise entre 4 et 20 mA correspondant à une gamme de mesure 0 m à 20 m d'immersion. La densité de l'eau de mer est fixe. Dans la problématique de suivi relatif du niveau de la mer, l'impact de la variation de ce paramètre est actuellement négligé.

Ce capteur a été installé en juillet 2009. Il assure une redondance du capteur Radar.



La centrale d'acquisition se paramètre à l'aide du câble de service disponible à l'intérieur de l'armoire et d'un PC. A Rangiroa, les paramètres étaient :

Paramètre	Valeur
distance <i>Décalage Radar/ZH</i>	2.533 (m)
goes_channel	80
goes_window	15 (s)
goes_interval	3 600 (s)
goes_txtime	0 (s)
sid	B1F00280
pslevel	10 (m)
sname	RANGI

La station émet en temps réel les données de hauteur d'eau vers un satellite du SMT de l'organisation météorologique mondiale (OMM). Ces informations sont exploitées par le PTWC et la NOAA qui les route ensuite vers le CEA/LDG à Tahiti. La station stocke par ailleurs en local les données des 1 000 derniers jours.

La configuration actuelle prévoit un message toutes les 60 minutes<sup>13</sup> (à heure ronde) avec les 30 dernières mesures effectuées toutes les 2 minutes, chaque mesure stockée est pour le capteur de pression la moyenne de 6 mesures espacées de 10 secondes et pour le Radar la moyenne de deux mesures espacées de 30 secondes (le Radar ayant déjà son propre algorithme d'intégration). Le message est de la forme suivante (les \*\*\* représentent des manques de données, ici liées à des procédure d'initialisation de la station) :

```
:PRS 881 883 880 883 882 883 883 884 883 883 883 882 883 882 884 883 884 882 884 882 883 883 883 *** 883
882 *** 883 883 883 :RAD 031 029 029 029 028 029 029 029 028 030 029 030 031 029 027 029 028 030 031 030
030 028 029 *** 030 030 *** 030 030 030 :REF ZH :BAT 13.1 :NAME RANGI :ID B1F00280 :DATE 2009-07-13 :TIME
23:59:04
```

Par soucis de synchronisation, les messages sont diffusés 4 secondes après l'heure ronde. Ce message est consultable en temps réel par la commande **bin** (définie dans la configuration) par le terminal de la centrale (**open**). Les données sont stockées en mode « channel », c'est-à-dire les unes à la suite des autres de gauche à droite dans l'ordre chronologique. Les dernières données sont celles de l'heure précédent l'envoi à la 58<sup>ème</sup> minute. Dans l'exemple ci-dessus, 883 cm pour PRS et 30 cm pour la RAD. Pour le Radar, les mesures sont référencées au zéro hydrographique local.

**Pour le capteur de pression, les mesures sont référencées à un seuil arbitraire, par exemple 0, 5 ou 10 m. En revanche, la configuration actuelle est : donnée = 10 m – mesure, ce qui n'est pas heureux car cela met en opposition de phase la variation des donnée de pression et du Radar. Ceci doit donc être pris en compte dans l'exploitation des données PRS localement. Ce principe sera modifié lors de la prochaine visite de la station par : donnée = 5 m + mesure.**

Par ailleurs, il n'a pas été possible de mettre en place la redondance de transmission, c'est-à-dire de diffuser toutes les heures les 60 dernières données (heure courante et heure précédente). Cette diffusion occupait alors 20 secondes, contre 15 secondes allouées sur la NOAA. Une demande d'extension sera donc réalisée par le CEA/LDG pour avoir soit une fenêtre de 30 secondes toutes les heures, ou alors une fenêtre de 15 secondes toutes les 30 minutes.

La centrale d'acquisition est synchronisée à l'heure UTC (Temps Universel Coordonné) quotidiennement via l'émetteur GOES qui possède un petit récepteur GPS.

<sup>13</sup> 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 *in situ* du paramétrage.

### Émetteur satellitaire GOES Vaisala V1001200

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. Il a été retenu d'effectuer cette opération une fois par jour, 5 minutes après le changement de date UTC (soit 14:05 heure locale).

### Capteur GNSS géodésique Leica GRX1200 GG Pro

Ce capteur de haute précision utilise simultanément les satellites GPS et GLONASS (GLObal'naya NAVigatsionnaya Sputnikovaya Sistema) système russe de positionnement par satellites. Typiquement, il été observé une constellation de 8-10 GPS et de 3-5 GLONASS. 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 :



Le capteur ne possède ni commande, ni affichage, et doit être paramétré à l'aide d'un PC par une connexion Ethernet. Le paramétrage actuel est :

Paramètre	Valeur
Adresse IP	192.168.114.121
Masque réseau	255.255.255.0
Antenne	AT504 GG
Radome	LEIS (hémisphérique)
Hauteur antenne	0 (m)
Type de fichier	Leica
Cadence	30 s
Segmentation	24 h

Le système GPS installé ne procède pas directement aux corrections de distances zénithales. Elles seront donc à intégrer dans le logiciel de traitement. Une évolution pourrait être de disposer de l'option Rinex afin d'obtenir d'emblée ce type de fichier et surtout de pouvoir automatiquement les diffuser sur un réseau domestique ou Internet. Une autre évolution serait de raccorder le capteur à Internet : dans ce cas, il serait possible de configurer l'équipement (http) ainsi que d'en récupérer les données quotidiennement (ftp). 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 sont stockées sur le support amovible de type carte mémoire compact flash (CF) de 1 Go : dans les conditions actuelles, l'autonomie est supérieure à 500 jours.

## Antenne GNSS géodésique Leica AT504 GG

L'antenne GPS est de type Choke Ring réalisée par la société Dorne & Margolin :



*Antenne GPS*

Cette antenne réduit très fortement les multi-trajets. Les effets résiduels sont alors négligeables. En revanche, l'interaction avec les conditions environnementales peut continuer à avoir un impact. En particulier en Polynésie française, les fortes précipitations peuvent engendrer un défaut sur le calcul de la composante verticale, ce qui est précisément la valeur recherchée dans la problématique rencontrée. Il n'y a pas vraiment de solution, mais une évolution de la station pourrait être de l'équiper d'un capteur de précipitation. La centrale d'acquisition peut gérer d'autres senseurs, et cette information pourrait être utile dans le futur. L'UPF, qui assure le traitement précis des données GPS, se prononcera sur cet aspect.

L'intégration du support de l'antenne a été réalisée selon le descriptif en annexe A2-4. Un support spécifiquement usiné 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 montée orientée vers le nord ; pour cela, l'intégration du support doit être réalisée avec cette contrainte. Le méplat du support de l'antenne est la référence verticale du positionnement. Il a fait l'objet d'un nivellement orthométrique.

### Réseau électrique basse tension de la station

La station dispose d'un réseau basse tension 12 V DC, il est composé d'un panneau solaire, d'un régulateur de charge et d'une batterie spécifique. Il devait répondre au besoin énergétique suivant :

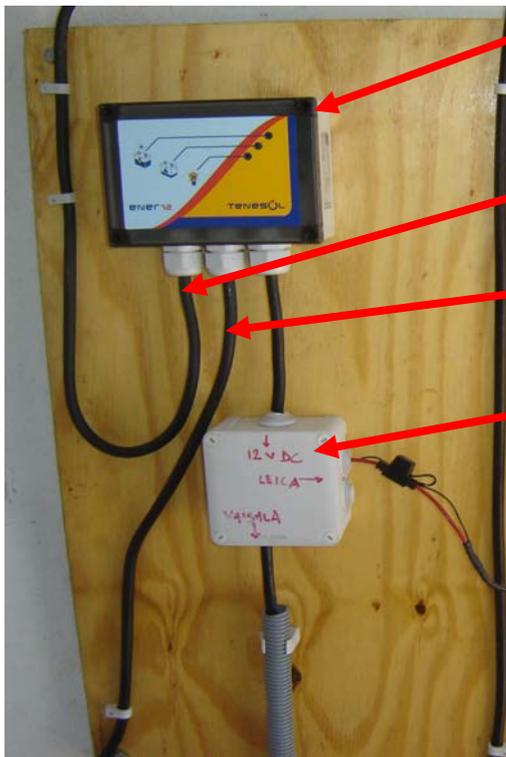
Équipement	Conso.	Durée	Énergie journalière
Capteur GNSS	500 mA	24 h	144 Wh/j
Centrale d'acquisition & Radar	50 mA	24 h	14,4 Wh/j
Émetteur satellitaire	4 A	10 s/5 min	38,4 Wh/j
<b>Total majoré</b>			<b>200 Wh/j</b>

Compte tenu de ce bilan énergétique et en appliquant les coefficients classiques de pertes énergétiques, il a été retenu comme solution :

- un bloc batterie d'une capacité de 1 250 Wh, de façon à permettre l'alimentation du système pendant 5 jours (coefficient de 0,8 pour le rendement des batteries) avec un rayonnement solaire nul, ce qui est une hypothèse extrême, y compris en période humide ;
- un module photovoltaïque d'une puissance crête de 65 W afin de permettre la recharge intégrale (coefficient de 0,9 pour le rendement des modules, tenant notamment compte de la salissure du panneau) sur une période de 2,5 jours ensoleillés (10 heures par jour). Durant cette charge, l'alimentation de la station doit également être assurée.

Dans ces conditions, le module photovoltaïque recharge en 3 heures la décharge de la batterie intervenue dans la nuit. Malgré ces calculs contraignants, il est important de réduire au maximum les pertes périphériques (perte de tension aux bornes des diodes, longueur des câbles, basse température, mauvais accord de tension aux bornes de la batterie...). Pour cela, l'utilisation d'un régulateur de charge optimise le rendement, notamment en début et fin de journée, l'optimisation des câblages (notamment leur longueur) évitant les pertes inutiles. Enfin, les basses températures ne sont pas un problème rencontré en Polynésie française (le cas échéant, les coefficients de rendement doivent être réduits).

Le réseau basse tension installé à Rangiroa est le suivant :



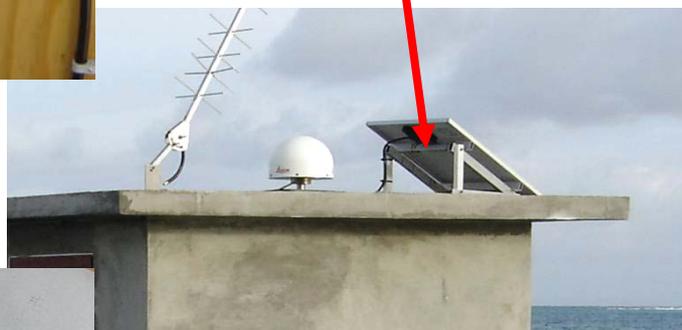
Régulateur électronique de charge

Arrivée module photovoltaïque

Échange avec le bloc batterie

Diffusion basse tension

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.

#### 4.1.2 Confirmations métrologiques du système

Un système équipé d'instruments de mesure doit être confirmé métrologiquement. Outre la recette du système intégré en terme de bon fonctionnement, des vérifications métrologiques ont été réalisées afin de s'assurer de l'intégrité des équipements. Ces opérations devront pour certaines être conduites lors des contrôles périodiques.

##### Recette du système

La recette du système s'est déroulée en zone de réparations navales (ZRN) à Papeete : elle consistait en une mise en œuvre intégrale du système. La configuration a dans ces conditions pu être mise au point et validée avant la mission de Rangiroa. 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 l'adressage des données vers le PTWC et le CEA/LDG ;
- l'enregistrement des données GNSS.

Tous ces tests devront être réalisés pour chaque station. Ils sont enregistrés par le SHOM comme état de fonctionnement initial.

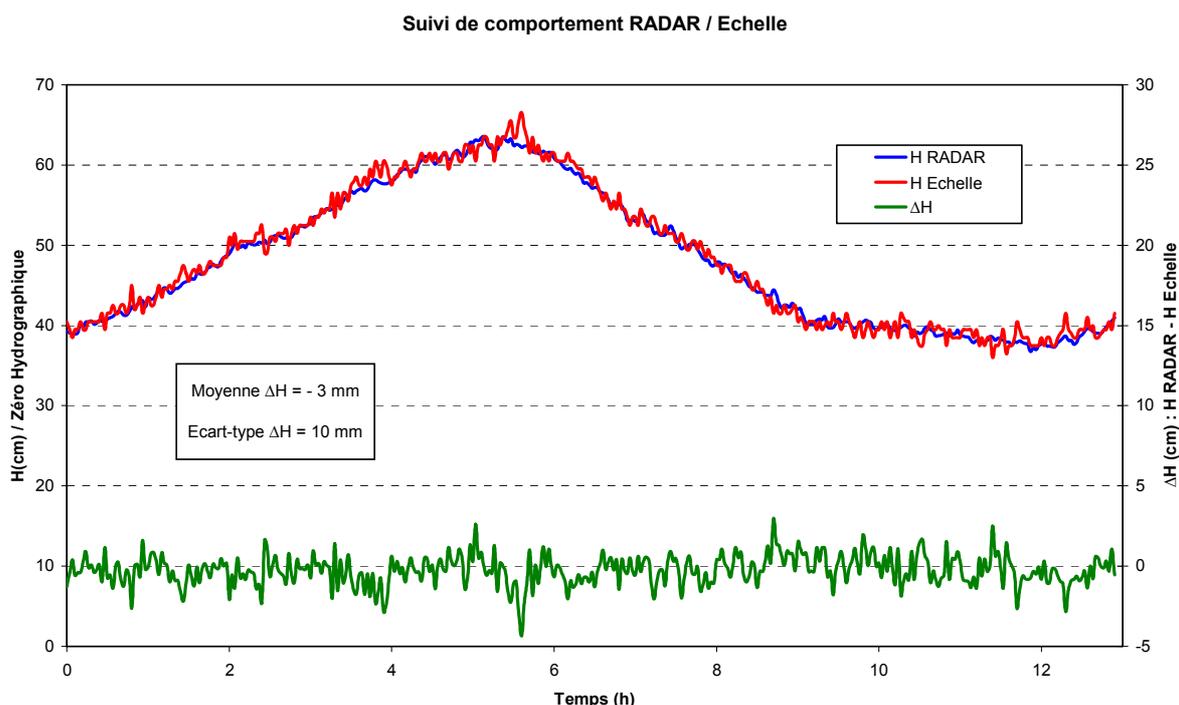
Outre ce bon fonctionnement, il était essentiel de valider les mesures réalisées :

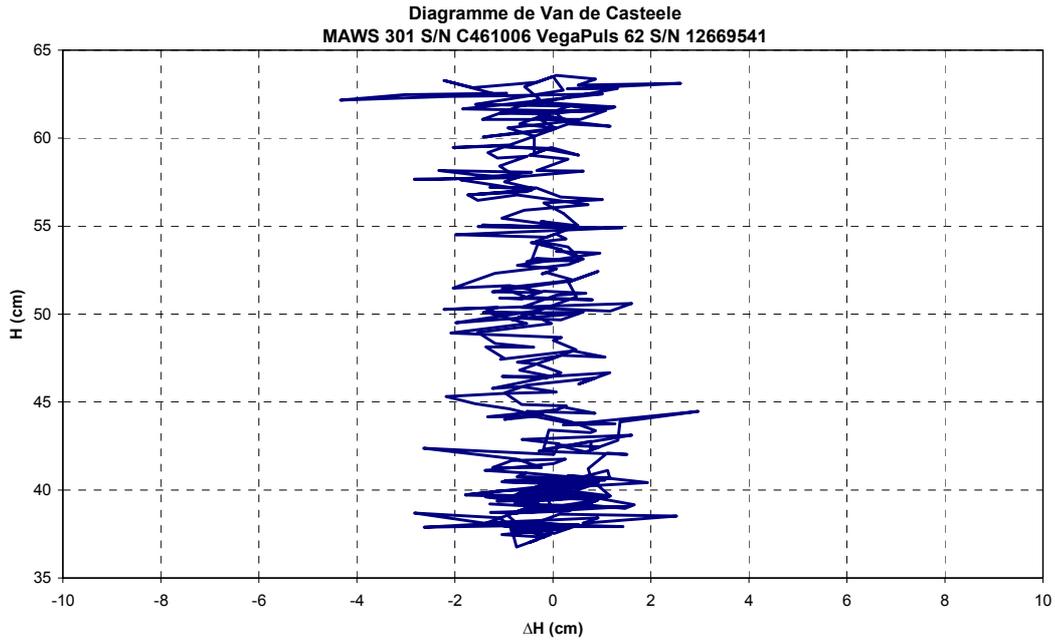
- par l'ensemble Radar et centrale d'acquisition ;
- par le capteur GNSS.

##### Confirmation métrologique des mesures de hauteurs d'eau

Cette confirmation métrologique a consisté en deux tests de Van de Casteele, l'un en ZRN, l'autre *in situ* à Rangiroa, tous deux effectués par rapport à l'échelle de marée. Il est important de souligner que dans les deux cas, un nivellement orthométrique a été réalisé par rapport aux repères fondamentaux de chaque observatoire de marée. Les décalages paramétrés dans la centrale ne sont donc pas issus d'une moyenne des écarts sur des lots de données (méthode préconisée par Vaisala). Toute erreur systématique d'intégration sera donc réellement décelée.

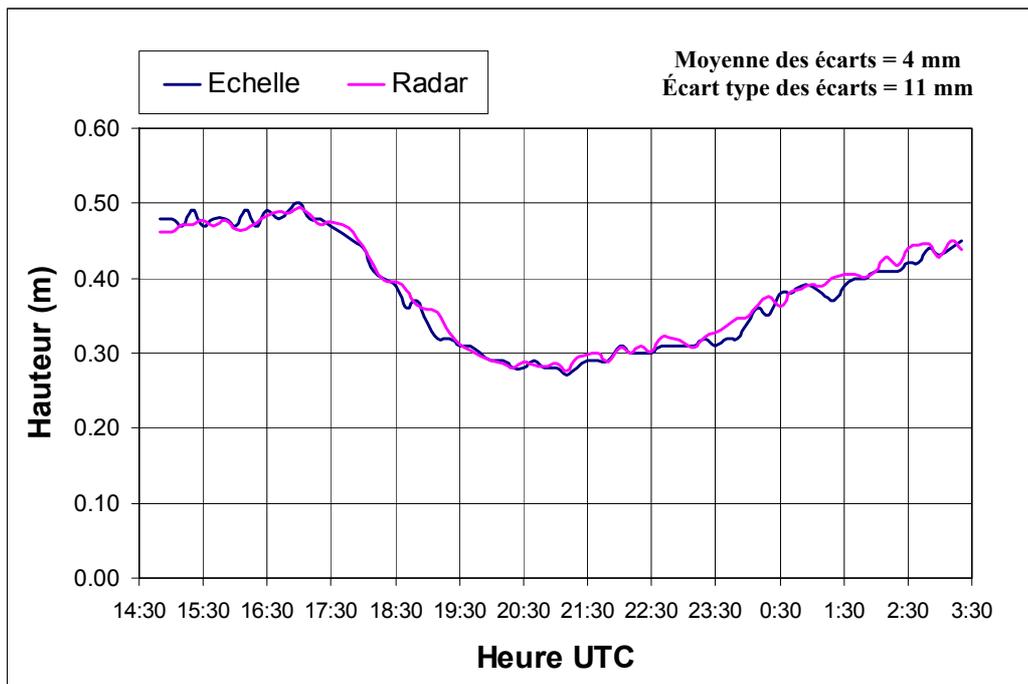
Les résultats du test conduit en ZRN sont présentés ci-dessous :



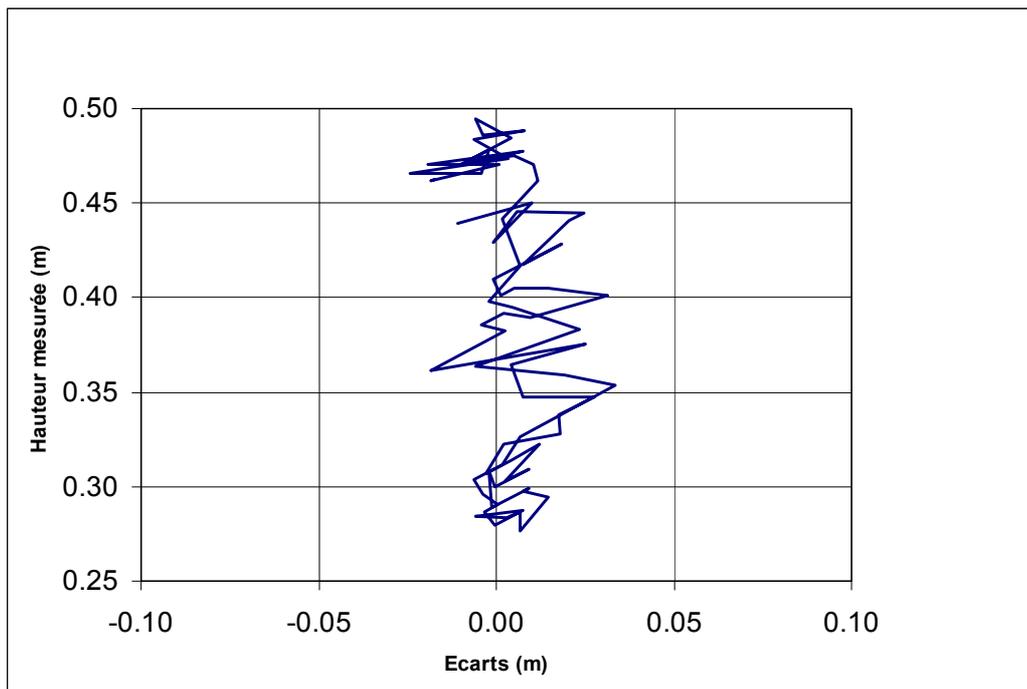


Les conditions du plan d'eau étaient bonnes, bien que non exceptionnelles compte tenu des nombreux mouvements dans le port de Papeete (mouvements réguliers d'embarcations et petit clapot persistant). Ces résultats sont pourtant excellents : le système témoigne d'une excellente justesse et présente une très bonne fidélité. En effet, l'écart type obtenu de 10 mm cumule les incertitudes des deux « marégraphes » (Radar et échelle de marée). Les lectures à l'échelle ne sont pas parfaites. 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. C'est probablement mieux compte tenu de la difficulté de réaliser des mesures à l'échelle au centimètre. Dans tous les cas, ce système est conforme aux exigences du programme mondial GLOSS. La qualité de mesure intrinsèque du système est donc bonne. En particulier cet équipement ne présente aucune erreur systématique décelable sur le diagramme de Van de Casteele.

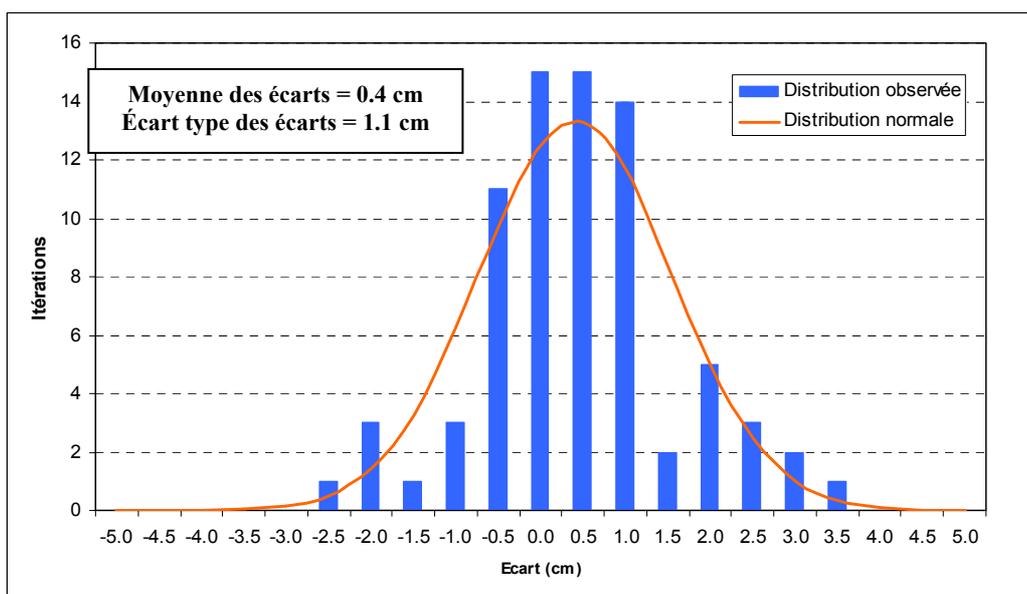
A Rangiroa, les résultats *in situ* étaient les suivants :



*Suivi de comportement Échelle/Radar*



*Diagramme de Van de Casteele*



*Distribution des écarts*

L'intérêt majeur du test de Van de Casteele reste de pouvoir le réaliser *in situ*, une fois le système réellement installé. Les conditions du plan d'eau étaient moins clémentes qu'en ZRN avec un clapot régulier d'une amplitude de 20 cm. Cependant avec les paramètres saisis, le biais moyen observé est de 4 mm avec un écart type de 11 mm. Donc encore une fois 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. L'erreur commise est donc de 10 mm, ce qui respecte 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 donc été validé.

Les résultats métrologiques du système sont très bons. La méthodologie du nivellement orthométrique est nécessaire si on ne veut pas commettre une erreur systématique résultant de mesures de mauvaise qualité. La recette conduite en ZRN a montré la « précision » du zéro instrumental du Radar : ce point est

à vérifier pour chaque Radar afin de pouvoir intégrer le système *in situ* avec la plus grande intégrité par le biais du nivellement de l'observatoire de marée.

### **Confirmation métrologique des mesures géodésiques**

Cette confirmation a essentiellement consisté en une validation des équipements installés en ZRN et *in situ*. Elle n'a pas ici pour objectif de déterminer les performances intrinsèques du capteur Leica GRX 1200 GG Pro. Par ailleurs, dans la problématique rencontrée, les performances sont clairement liées aux algorithmes utilisés lors du traitement des données.

Il était néanmoins important de détecter un éventuel dysfonctionnement des équipements installés : la justesse et la fidélité du capteur ont été simplement analysées.

Aucun biais significatif n'a été observé. En effet, sur le point de référence implanté en ZRN, 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 sur ce même lot, c'est-à-dire en comparant la solution cinématique (PPK 1s) à la solution statique considérée comme référence, on obtient de très bons résultats également :

<b>Biais</b>	-1,5 mm
<b>Écart type</b>	1,8 cm
<b>Erreur maximale</b>	8 cm

Ces résultats témoignent d'une fidélité très bonne du Leica GRX 1200 GG Pro, ces valeurs étant relativement typiques d'une solution en cinématique, que ce soit en temps réel (Real Time Kinematic) ou en temps différé (Post Processing Kinematic). Par ailleurs, cet enregistrement s'est déroulé durant les travaux réalisés sur la station de Rangiroa. Aussi il n'est pas à exclure de ponctuels masquages par les personnels sur le toit et ainsi des dégradations momentanées (à rapprocher également des sauts de cycle).

Dans tous les cas, le capteur est conforme à ses spécifications : il fonctionne nominalement, les données recueillies sont intègres et de très bonne qualité. Le site de mesure présente un environnement très favorable à l'obtention de bonnes mesures.

#### **4.1.3 Premiers résultats**

L'objectif de cette mission était l'intégration de la station. L'exploitation des données sera assurée dans le temps essentiellement par l'UPF (niveau moyen) et le CEA/LDG (tsunami). Le SHOM, responsable de la mise en place du zéro hydrographique comme référence altimétrique pour les hauteurs d'eau, exploite aussi toutes les données de marée au titre de référent national (instruction n° 863/SGMer du 20 avril 2010 relative à l'observation du niveau de la mer et à la gestion et la diffusion des données en résultant) : connaissance générale de la marée, détermination des constantes harmoniques et des niveaux extrêmes, prédiction de marée.

#### **Résultats locaux**

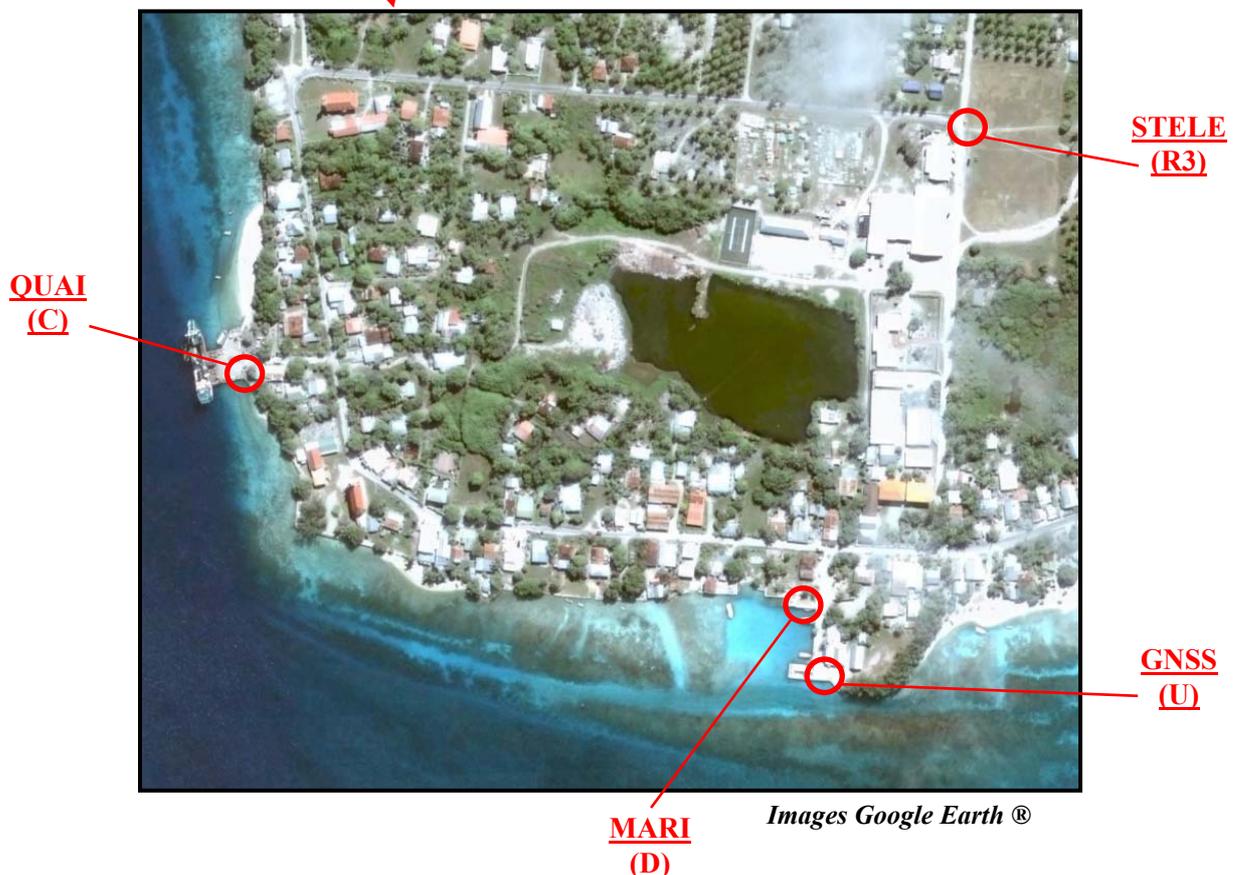
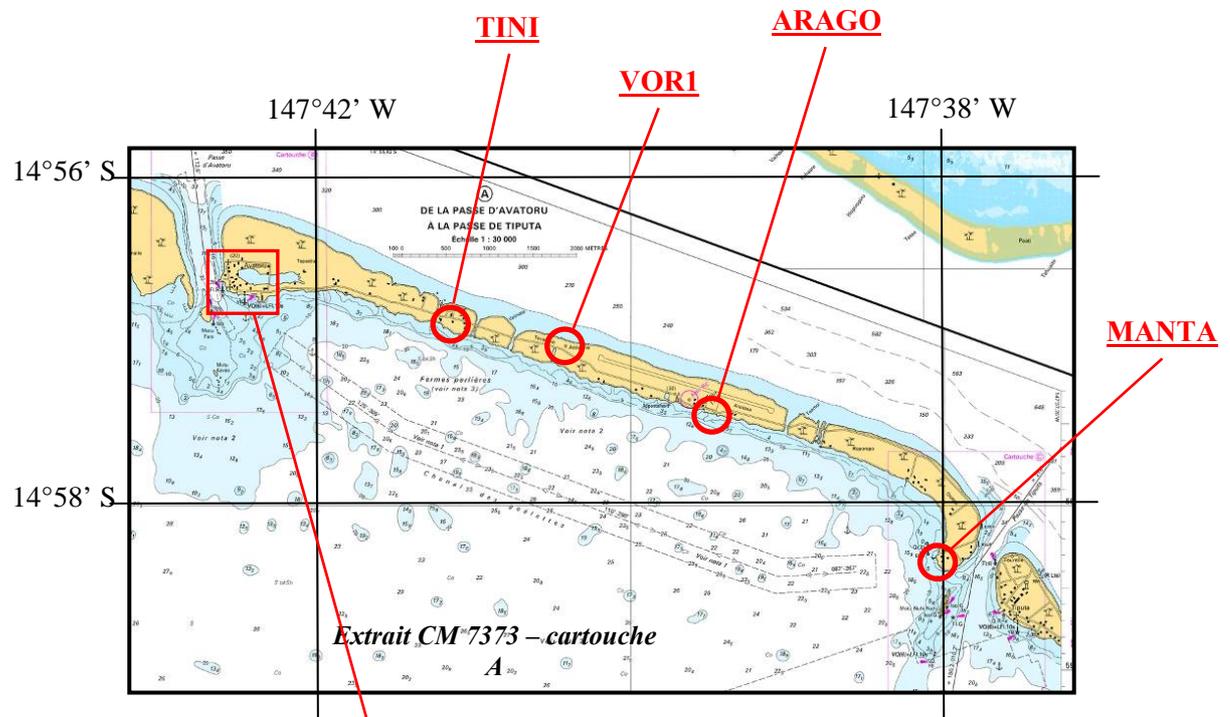
L'ensemble des repères constituant la station d'observation a donc fait l'objet d'un nivellement orthométrique.

Par ailleurs, afin de qualifier le site de la station, une empreinte géodésique a été initialisée (détermination précise de la position de points autour de l'observatoire de marée). 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 un point « stable » de l'environnement. L'évolution de l'empreinte permettra de détecter les défauts de stationnarité de l'observatoire. Tout affaissement accidentel pourra être détecté. Les calculs ont été menés avec le logiciel LGO (Leica Geo Office).

L'empreinte a été déterminée par nivellement optique et par mesures GPS pour les lignes de bases plus conséquentes, chacune de ces mesures GPS ayant été réalisée sur une période de 24 heures afin d'obtenir une incertitude de mesure « relative » de l'ordre de 1 cm. Chaque point de l'empreinte est

matérialisé par un repère SHOM en laiton, scellé dans un support *a priori* durable (pierre, béton) et identifié par une fiche géodésique. Les points de l’empreinte ont été implantés pour appréhender les affaissements du quai ou encore une certaine inclinaison de l’île dans le temps.

L’empreinte géodésique suivante a été stationnée à Rangiroa :



## Résultats globaux

De plus, une solution globale a été calculée au moyen des logiciels GAMIT/GLOBK. Cette méthode permet de détecter voire de mesurer des mouvements globaux qui ne pourraient pas être détectés localement. Trois points, observés durant 5 jours, ont ainsi été déterminés : la station à l'aéroport (VOR1), une douille implantée dans un mur en béton (TINI) et le support de l'antenne géodésique de la station de surveillance (GNSS). Quatre stations IGS (International GNSS Service) ont été utilisées (Tahiti, Nouvelle-Zélande, Hawaii et l'île de Pâques) pour le traitement, ce qui permet d'obtenir une solution globale centimétrique.

La méthode utilisée a par ailleurs été validée en confrontant les résultats obtenus sur ces 5 jours pour la station IGS THTI (supposée alors inconnue) à la solution cumulée disponible en ligne sur le site de l'IGS pour la même période. Les deux positions ainsi obtenues sont cohérentes à 10 mm.

Dans ces conditions, les solutions initiales de la station installée à Rangiroa sont les suivantes, l'incertitude spatiale large de mesure étant de 10 mm :

Solutions en février 2009 exprimées dans l'ITRF* 2005			
Station VOR1 (aéroport)	X = -5208356.687 m Y = -3295945.264 m Z = -1634768.124 m	2009,160	He** = 6.338 m
Douille TINI	X = -5209116.211 m Y = -3294815.740 m Z = -1634620.639 m	2009,160	He = 4.964 m
Support géodésique GNSS (station)	X = -5210325.307 m Y = -3293061.709 m Z = -1634311.524 m	2009,160	He = 6.961 m

\* International Terrestrial Reference Frame

\*\* Hauteur ellipsoïdale

Aucun repère DORIS (Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite – voir rapport d'étude SHOM n° 2/1999 [7]) n'étant disponible sur l'île, il n'a pas été possible de mettre directement à profit ces mesures pour qualifier le réseau géodésique de Polynésie française (RGPF) à Rangiroa.

### 4.1.4 Évolutions et maintien en conditions opérationnelles de la station

Le système installé à Rangiroa répond aux besoins exprimés initialement. 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 palier aux 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 AC : le panneau solaire ne serait alors plus critique ;
- le raccord de la station au réseau Internet : les données GPS 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 (General Packet Radio Service) à la place du canal GOES.

Dans tous les cas, une visite de contrôle périodique doit être réalisée. Cette visite a pour objectif d'entretenir d'une manière préventive la station. Elle devra notamment comporter :

- l'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... ;
- le nettoyage de l'échelle de marée et du capteur barométrique ;
- le nivellement orthométrique de l'observatoire de marée ;

- les mesures relatives à l'empreinte géodésique (en partie, l'objectif étant de confirmer l'ensemble de l'empreinte sur 3 ans) ;
- la mise à jour des logiciels des équipements ;
- la mise à jour des configurations et des paramétrages des équipements ;
- le formatage des mémoires (internes et supports amovibles) ;
- le test de bon fonctionnement après une relance complète de la station ;
- les confirmations métrologiques : test de Van de Castele.

Cette liste n'est pas exhaustive. Par ailleurs, des actions ponctuelles peuvent être nécessaires, essentiellement pour récupérer les données et intervenir sur un dysfonctionnement. A ce titre, il est important d'avoir une station complète de rechange pour chaque bassin. Une vigilance sera donc accordée aux différences de configurations suivant les sites. La gestion de configuration doit être réalisée d'une façon générale pour le réseau de marégraphes dans le Pacifique, en particulier 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 et salins. Le remplacement des équipements sera donc à provisionner. Les maintenances annuelles pourront affiner cette espérance selon les sites.

#### **4.1.5 Retour d'expérience**

Cette seconde installation, après la station marégraphique de Tubuai, fut également l'occasion de capitaliser les premiers retours d'expérience. Cette mission s'est déroulée nominale, mais il est aisé d'imaginer des complications techniques ou climatiques qui auraient pu contraindre cette mission. Dans ces conditions, l'empreinte géodésique aurait été réalisée en mode dégradé, réduite (quelques points) ou différée à une intervention ultérieure.

Dans tous les cas de figure, certaines dispositions doivent être prises afin d'optimiser le taux de réussite de l'opération :

- expédition aller/retour d'une caisse de 2 m<sup>3</sup> de l'ensemble des équipements et de l'outillage nécessaires ;
- prise en charge de 30 kg supplémentaires lors de la liaison aérienne : compléments et équipements uniques qu'il est délicat de mettre dans le fret maritime (GPS notamment) ;
- 3 personnes et 7 jours au minimum sur place : en comptant le temps de récupération des équipements, d'intégration de la station, de mesures, de contrôles métrologiques, de reconditionnement des équipements, cette durée s'avère être la limite basse. Il n'y a en effet pas de temps pour un souci technique conséquent ou pour deux jours de pluie notamment. Dans tous les cas, la recette des équipements doit avoir eu lieu au préalable et la préparation logistique doit avoir été très soignée ;
- une mission préalable de 1 ou 2 jours afin de prendre contact avec les partenaires locaux et de détecter de possibles particularités ou probables complications est obligatoire.

Compte tenu de ces éléments, la maintenance périodique devra être réalisée par deux personnes sur une période de trois jours minimum sur place.

#### **4.1.6 Evolution du système**

Comme indiqué précédemment, les données du capteur de pression installé en juillet 2009 à Rangiroa étaient exprimées avec un signe opposé à celle du capteur Radar, référence de cette station de surveillance.

Lors d'un passage d'opportunité à Rangiroa le 4 avril 2010, ce problème de configuration a été corrigé. Les données de cette station sont visibles sur le site de l'UNESCO/IOC :

<http://www.ioc-sealevelmonitoring.org/station.php?code=rangi>

De plus, en concertation avec le CEA/LDG et pour être en cohérence avec le format standard des stations de surveillance américaines, les données de niveau de la mer de la station de Rangiroa sont désormais :

- exprimées en millimètres plutôt qu'en centimètres,
- devancées dans leur trame d'émission satellite d'un champ inutilisé (de 5 espaces) ajouté pour ne pas perturber les outils logiciels de décodage.

Cette modification de la configuration a également été réalisée sur la station de Tubuaï en juillet 2010.

## 4.2 Les Gambier : reconnaissance en février 2010

Conformément à la décision prise en décembre 2009 entre les partenaires locaux du projet (sécurité civile, UPF, CEA/LDG, GOP), une mission de reconnaissance du SHOM (MJR Brice Lecat et IETA Yves-Marie Tanguy) s'est rendue dans l'archipel des Gambier du 2 au 6 février 2010, dans le but d'y installer une station de surveillance du niveau moyen de la mer et de détection de l'aléa tsunami.

### 4.2.1 Soutien

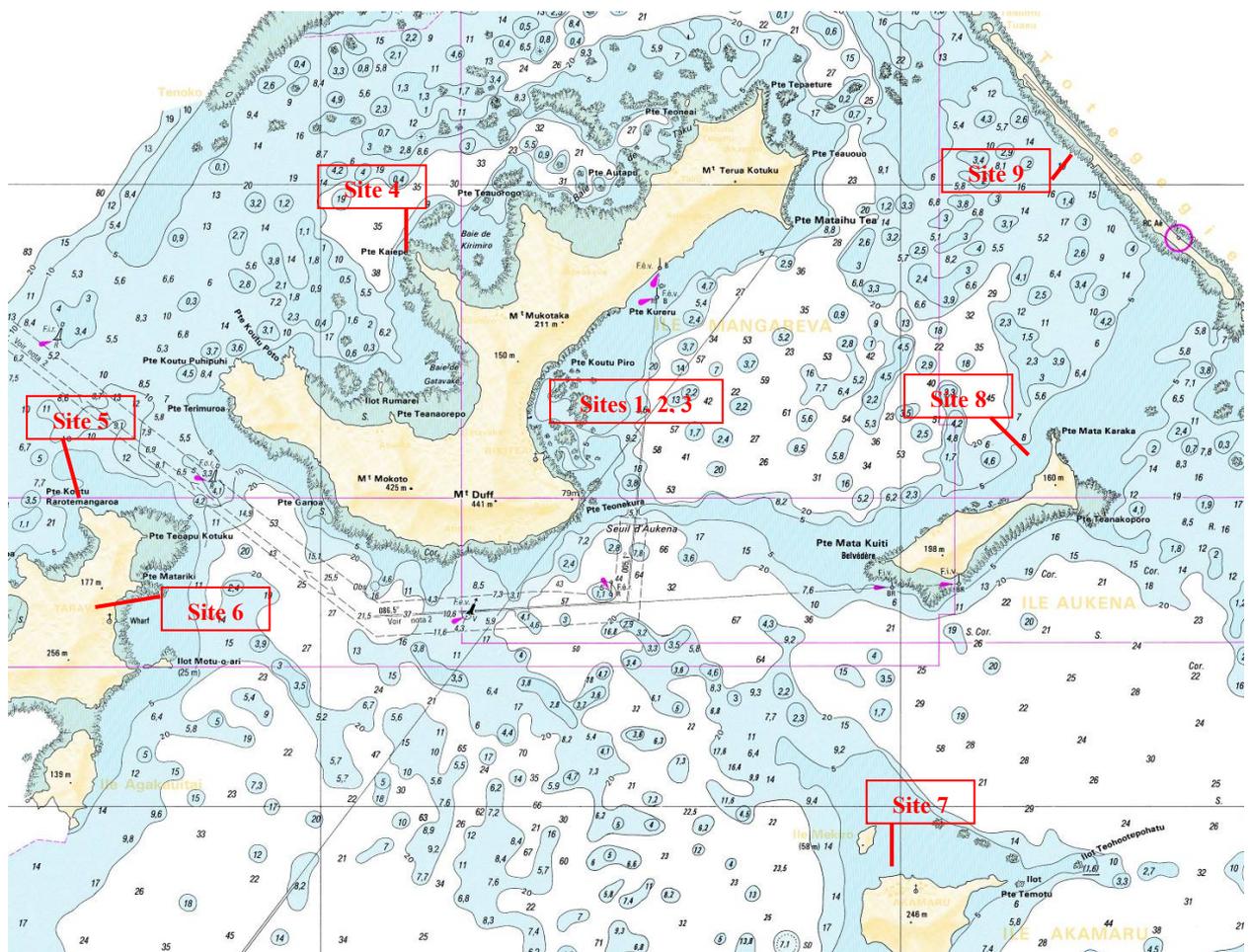
La gendarmerie de Rikitea a apporté une contribution précieuse lors de cette mission :

- récupération et stockage d'une caisse de matériels arrivée par fret maritime ;
- accueil et reconnaissance sur l'île principale ;
- transport sur toutes les îles environnantes à partir de la vedette de gendarmerie et son pilote.

Un entretien informel avec le maire a eu lieu le 5 février 2010 pour lui expliquer les enjeux de ce projet. Un contact a également été pris le 6 février 2010 avec son adjoint chargé de l'équipement, notamment pour confirmer la viabilité des sites au quai du commerce à Rikitea et à Totegegie.

### 4.2.2 Sites possibles

La carte générale suivante présente les sites ayant fait l'objet d'un repérage. L'île habitée au sud de l'archipel, Kamaka, n'est pas représentée car elle n'a pas été reconnue. Malgré une tentative d'approche, il n'a pas été possible d'y débarquer car située dans la partie non protégée par un lagon, la houle océanique y était trop forte.



## Île principale de Mangareva



*Site 1 : marégraphe installé par l'université d'Hawaii dans un parc à poissons royal*

Un marégraphe permanent américain existe déjà sur l'île principale de Mangareva : curieusement, il est situé dans un ancien vivier à poissons, ce qui filtre de manière excessive son signal de niveau de la mer. Par sa position à l'extrémité est de la Polynésie française, l'enjeu de détection d'un tsunami dans l'archipel des Gambier est pourtant considérable (cas des séismes d'Amérique du Sud au Chili ou au Pérou notamment).

Dans le village de Rikitea où se concentre la majeure partie de la population de l'archipel, seul le site 2, quai du commerce, a été retenu :



*Site 2 : quai du commerce à Rikitea*

Il présente les avantages suivants :

- hauteur d'eau : suffisante quelque soit la marée ;
- sécurité : la proximité de la mairie et le passage fréquent de population assurerait une forme de surveillance ;
- stabilité de la portion de quai prévue (l'extrémité est du quai du commerce est à proscrire car sur piles) ;
- site déjà observatoire de marée : les repères de nivellement de la cathédrale (repère fondamental) et de la porte du vivier du roi sont facilement accessibles ;
- dimensions suffisantes (moyennant un léger aménagement).

Il présente cependant les deux inconvénients suivants :

- proximité du ponton d'accostage de la vedette assurant la liaison entre Rikitea et l'aérodrome de Totegegie : il faudrait sensibiliser son pilote à la présence d'un capteur Radar dépassant du quai d'une trentaine de centimètres ;
- le caractère haut de l'île provoquerait un léger masquage de l'antenne GPS vers l'ouest.

Sur Mangareva, le site 3, quai de la Légion, a été écarté : il est adjacent à une mise à l'eau d'embarcation très fréquentée, ce qui provoquerait inmanquablement des dégâts sur le capteur Radar.



*Site 3 : quai de la légion à Mangareva*

Le site 4, ferme perlière de la pointe Kaiepe sur la côte ouest de l'île de Mangareva, est mentionné à simple titre d'information, car situé dans une enceinte privée de la société Tahiti Perles. Son intérêt principal réside dans son ouverture directe vers la passe de l'ouest, mais la stabilité de cette structure n'est absolument pas assurée.



*Site 4 : ferme perlière pointe Kaiepe*

### **Île de Taravai**

Envisagée sur carte lors d'une réunion avec l'UPF et le CEA/LDG, le site 5, pointe Koutu Rarotemangaroa au nord de Taravai, offre effectivement une excellente ouverture sur les secteurs est à ouest en passant par le nord. Des blocs de basalte, stables, constituent la frange côtière. Cependant ce site présente d'évidentes difficultés logistiques (absence totale d'infrastructure, éloignement, accès aussi compliqué par la mer que par la terre).



*Site 5 : pointe Koti Raratemangaroa (Taravai)*

Le site 6, quai de Taravai, s'effondre dangereusement et est à écarter.



*Site 6 : quai de Taravai*

### **Île d'Akamaru**

Le site 7, quai d'Akamaru, qui offre une construction solide, est malheureusement à écarter : il est trop étroit et la hauteur d'eau à marée basse est insuffisante.



*Site 7 : quai d'Akamaru*

### **Île d'Aukena**

Le site 8, ferme perlière de Wan à Aukena, est mentionné à simple titre d'information car situé dans une enceinte privée.



*Site 8 : ferme Wan*

### **Île de Totegegie**

Le site 9, entrée sud du port de Totegegie, correspond à une infrastructure relativement robuste car ce port permet le transit des passagers de l'aérodrome vers l'île principale. Certaines portions de quai s'effondrent, mais l'entrée sud définie par un bloc de béton est en parfait état.



Ce site offre les avantages suivants :

- hauteur d'eau suffisante quelque soit la marée ;
- stabilité du bloc de béton prévu ;
- dimensions suffisantes, moyennant un léger aménagement pour tronçonner la bite d'amarrage qui n'est plus utilisée ;
- aucun masquage pour l'antenne GPS de précision,
- sécurité : cet îlot corallien n'est fréquenté massivement que lors de l'arrivée d'un avion (3 fois/15 j). Seuls des pêcheurs locaux y relâchent parfois.

Il présente cependant les inconvénients suivants, qui sont tous surmontables :

- en terme d'observatoire de marée : tout sera à créer, le repère fondamental étant sur l'île principale de Mangareva ;
- en terme d'empreinte géodésique : situé sur un îlot corallien frangeant, les observations géodésiques à long terme se feraient sur une empreinte moins large que celle possible sur l'île principale (mais c'est également le cas à Rangiroa) ;
- en terme logistique : lors de la construction de l'abri, de l'installation des équipements, puis des opérations annuelles de maintenance, des surcoûts sont à prévoir pour une station qui ne se situe pas sur l'île principale.

#### 4.2.3 Conclusion

Le SHOM recommande le site 2, quai du commerce de Rikitea, préférentiellement au site 9, entrée sud du port de Totegegie.

Cette recommandation est à mettre en balance avec les considérations des partenaires scientifiques du projet :

- ouverture vers l'est du quai du commerce, ouverture vers l'ouest de Totegegie (avec proximité d'une passe),
- justification plus difficile d'un deuxième observatoire sur l'île principale de Mangareva, même si le marégraphe est installé dans un vivier.

Les contacts pris avec l'entrepreneur local laissent augurer d'une bonne réactivité pour la construction d'un abri.

## 4.3 Huahine : installation en avril 2010

### 4.3.1 Présentation

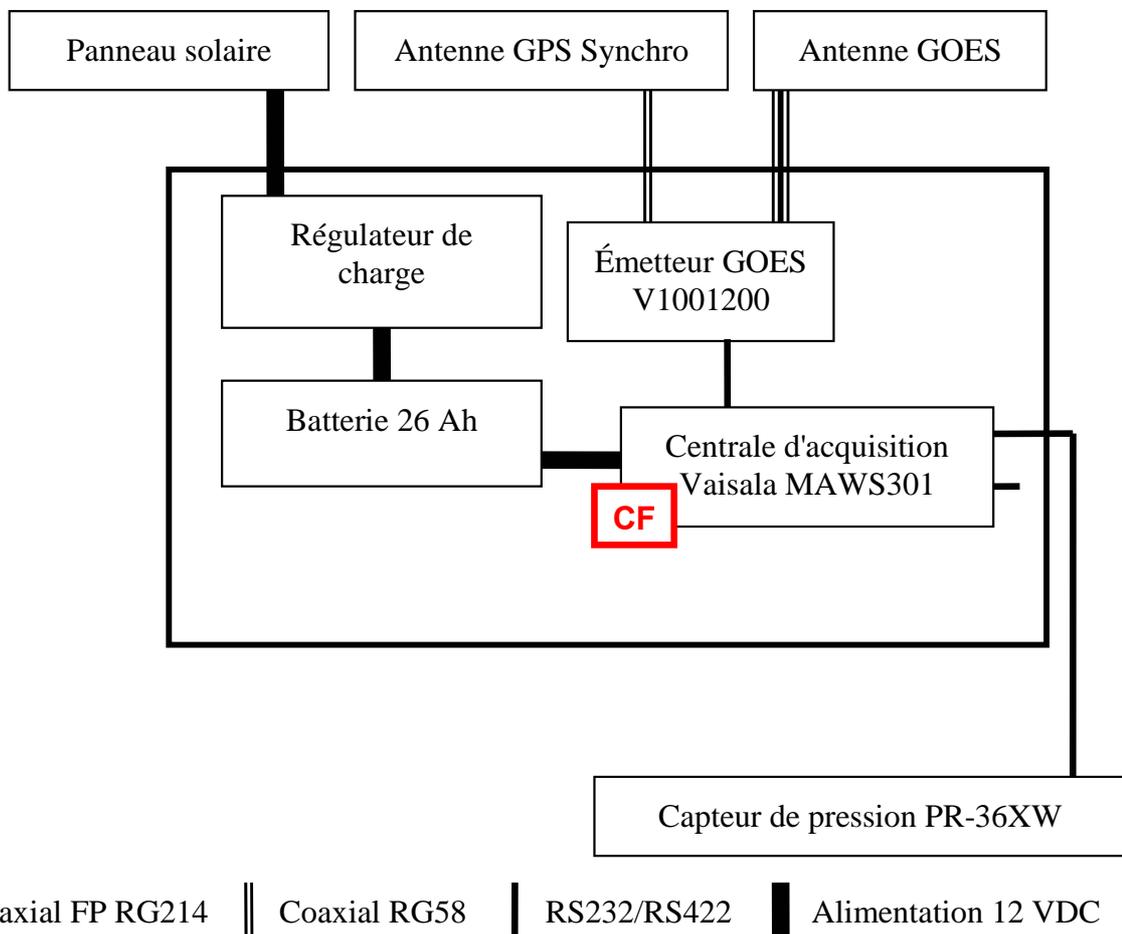
La station installée au quai Haamene à Huahine vise à :

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

Pour mémoire, l'objectif d'étude à long terme du niveau de la mer a dû être provisoirement écarté sur ce site. Bien que la construction d'un abri ait été autorisée au quai de Fare par un arrêté de la Polynésie française, de nombreux travaux d'aménagements étaient toujours susceptibles d'y être menés : un modificatif à l'arrêté a été apporté pour autoriser une implantation réduite sur un autre quai à Haamene.

En conséquence, la construction d'un abri et l'association d'un GPS de précision ont, pour l'instant, été abandonnées sur cette île et une intégration « légère » (sur mâtereau et sans capteur Radar) a été retenue par les partenaires du projet, DDPC et CEA/LDG qui ont aussi validé le choix du site.

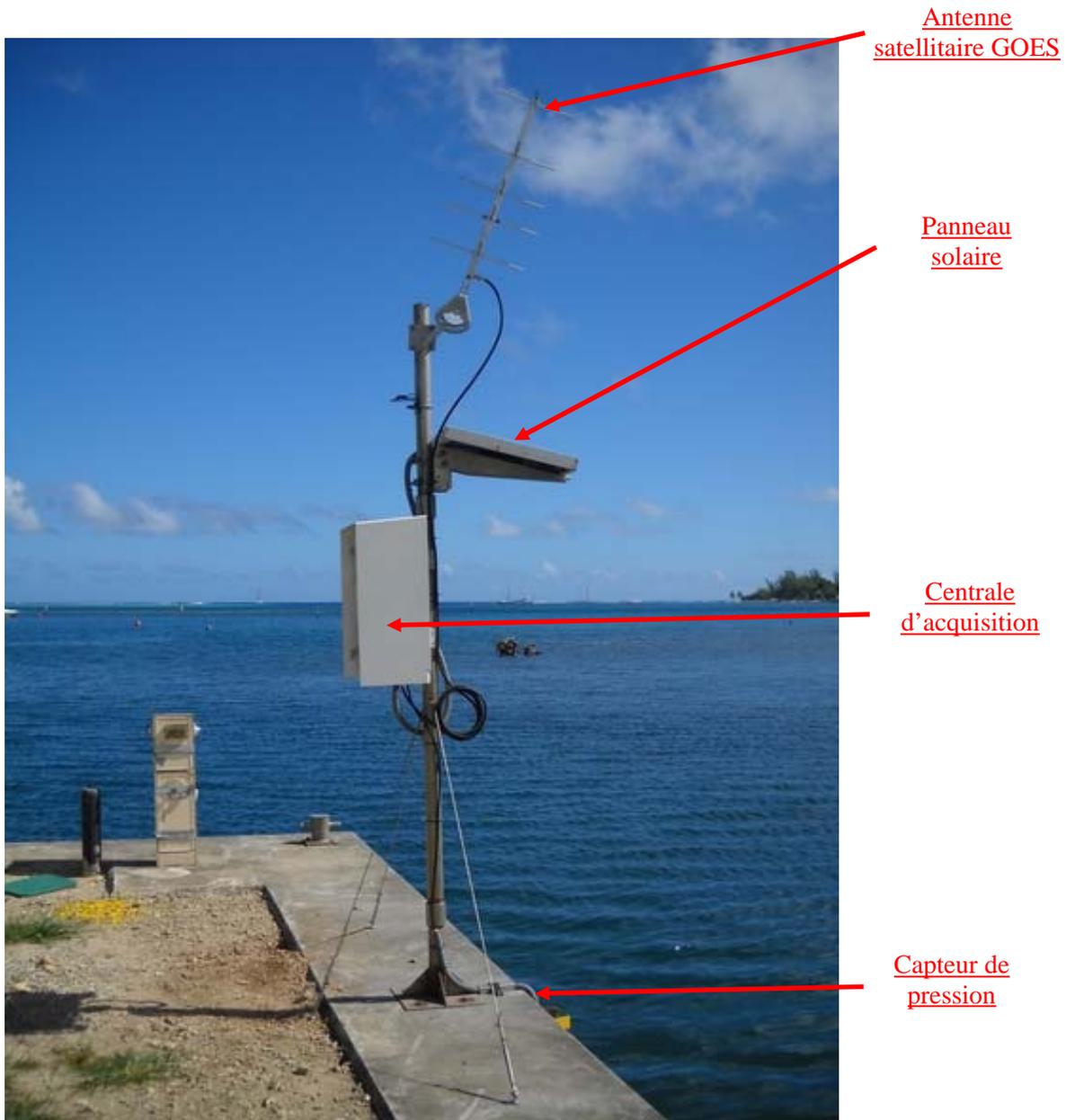
Le synoptique de la station marégraphique installée est le suivant :



La configuration initiale est décrite dans le tableau suivant :

Équipement	Type	S/N	Firmware	Configuration
Capteur de pression	Keller PR-36XW/H	43848	/	4-20 mA
Centrale d'acquisition	Vaisala MAWS301	D02403	6.00	TSU_YT54
Émetteur GOES	Vaisala V1001200	6416	/	/
Régulateur de tension	ASC 12V	/	/	/

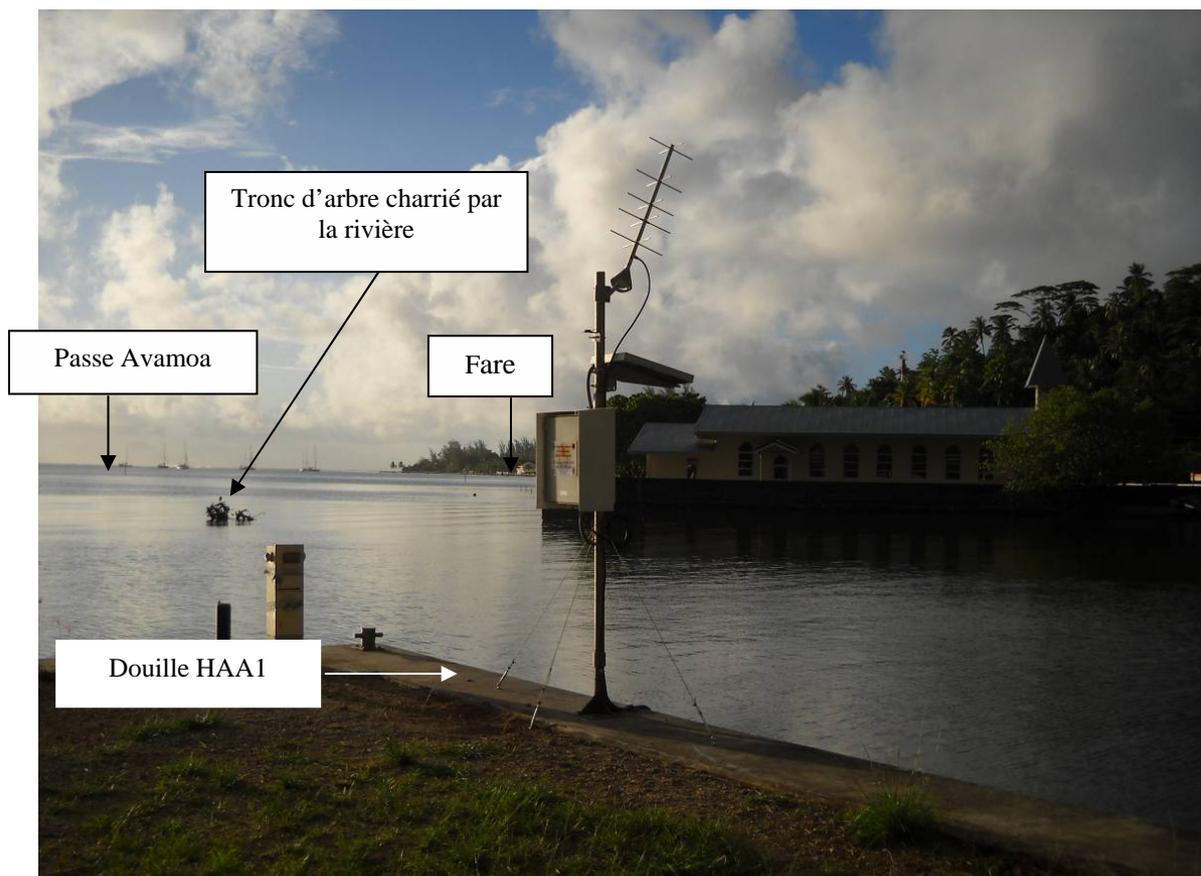
La photo ci-dessous présente une vue générale de la station :



*Date du cliché : le 6 mai 2010*

#### **4.3.2 Description du système**

Comme le quai de Fare, le quai de Haamene est situé face à la passe d'Avamoa, dans une baie étroite et peu profonde : les interlocuteurs rencontrés localement (pompiers, pêcheurs, personnels de la direction de l'équipement) ont confirmé l'intérêt de ce site qui a rendu visible le tsunami de septembre 2009 (Samoa).



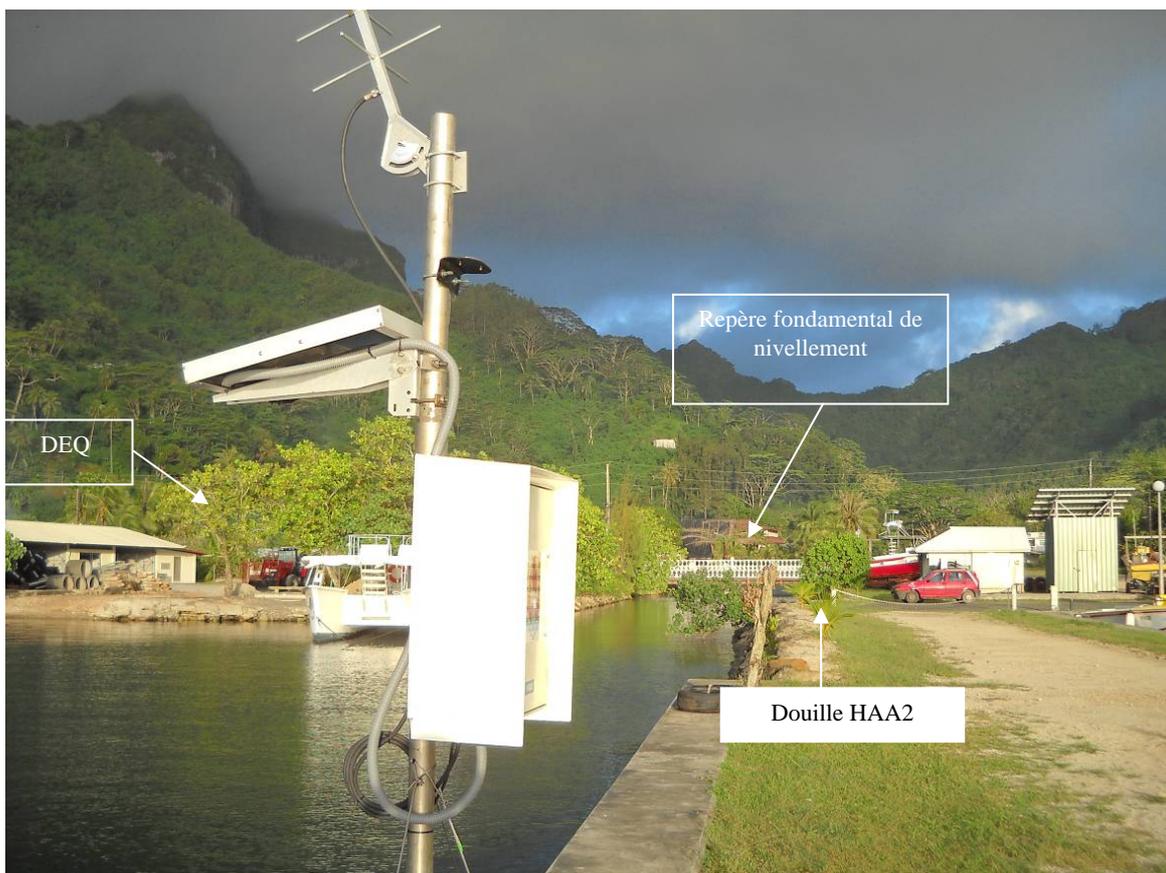
*Vue aval*

Située à proximité de l'embouchure d'une rivière, sur la rive opposée aux installations de la direction de l'équipement (DEQ), la portion de quai retenue pour l'installation n'est quasiment jamais utilisée car elle est 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, laisse entrevoir quelques difficultés :

- en cas de très fortes pluies (qui sont 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 (moins de 5 ans), 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.

Ces trois derniers items constituent des contraintes du système.



*Vue amont*

### **Intégration mécanique**

La station marégraphique comporte (voir photos ci-dessus) :

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

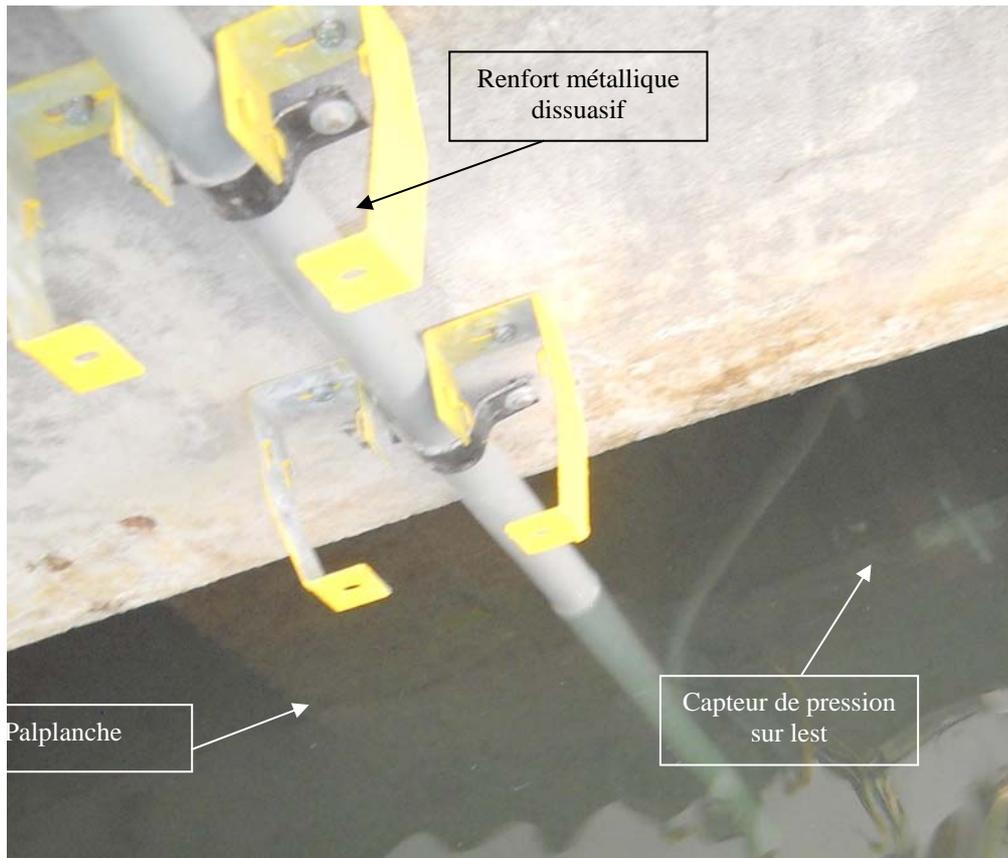
Le mâtereau en inox, fourni par le CEA/LDG, a été rallongé à 3,30 m, afin de rehausser l'antenne Yagi et le panneau solaire. Pour renforcer la structure, des haubans ont été rajoutés sur 3 axes (absence de hauban côté mer). Pour l'embase du mâtereau et les haubans, seules des fixations dans le béton 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) particulièrement 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.

La poutre de couronnement affleurant l'eau et dépassant de 30 cm les palplanches de fondation du quai, une installation uniquement dans un tube PVC, comme à Tubuï et Rangiroa, n'a pu être reproduite. Le capteur de pression repose donc sur un lest :

- protégé de tout objet dérivant dans la rivière par un renforcement des palplanches ;
- posé sur fonds rocheux, pour tenter de limiter le phénomène d'enfoncement qui paraît particulièrement 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 mécaniquement installée pour que son zéro corresponde au zéro hydrographique (à 2 mm près). Le capitaine des pompiers a conseillé de limiter la possibilité d'extraction de l'échelle de marée de son support (bloquée par simple vis sur les sites de Tubuai et Rangiroa) : des cales en bois sacrificielles ont été utilisées.



A destination du public, une plaque d'information a été vissée sur la porte du coffret de la centrale d'acquisition.



### Centrale d'acquisition Vaisala MAWS301

La centrale d'acquisition se paramètre à l'aide d'un câble de service. Le port de service « COM0 » est protégé par un bouchon plastique vissé. Le port « COM1 », utilisé habituellement pour la communication avec le capteur Radar, n'est plus accessible car il est protégé par un bouchon et une couche de silicone. De manière générale, toute ouverture sur l'embase inférieure du coffret (qui regroupe les connectiques) a été fermée et colmatée.

Pour la centrale de Huahine, les paramètres de communication avec le satellite GOES 135W sont repris dans le tableau suivant :

Paramètre	Valeur
goes_channel	80
goes_window	15 (s)
goes_interval	3 600 (s)
goes_txtime	1 165 (s)
sid	B1F0371A
pslevel	0 (m)
sname	HUAHINE

Ces paramètres ont été préalablement validés à Papeete. Aussi, aucune difficulté n'a été rencontrée lors de l'installation. Les données de cette station sont visibles depuis le 11 mai 2010 sur le site IOC : <http://www.ioc-sealevelmonitoring.org/station.php?code=huahi>

**Nota** : la centrale d'acquisition a été fournie par la DDPC. Les partenaires du projet ont décidé que l'ensemble des équipements serait considéré comme propriété de l'UPF, qui devrait piloter la maintenance de ces observatoires en Polynésie française.

L'absence de capteur Radar pour la station de Huahine a impliqué une modification de configuration de la centrale d'acquisition. Afin de limiter au maximum les écarts avec la configuration de Tubuai et Rangiroa, il a finalement été retenu de ne désactiver que deux lignes de code dans le fichier « .adc » : il s'agit de l'écriture des données Radar dans la trame d'émission et de la définition de cette dernière.

Ligne 178 : GOESsend(<:App\_source2:"","",HistServer\_L0,<:App\_lastvalue:"orderData":>,-1,0:>);

Ligne 280 : #!Str 2 ':PRS %[/]b :BAT %[-]4.1f :NAME %[ /]3s :ID %[INC]8s'

Les appels à un hypothétique capteur Radar ont été conservés : il a été vérifié qu'ils n'ont aucune influence sur le fonctionnement nominal de la centrale, sa robustesse logicielle prévoyant la perte d'un capteur. L'absence de données RAD est vérifiable avec la commande *bin* qui reprend la dernière transmission vers l'émetteur GOES :

```
:PRS 1419 1427 1424 1419 1423 1431 1455 1442 1424 1453 1423 1428 1444 1444 1444 1449 1440 1448 1458
1440 1452 1449 1442 1465 1454 1442 1455 1463 1467 1453 :BAT 16.2 :NAME HUAHINE :ID B1F0371A
```

La commande *total* qui donne les dernières valeurs des capteurs d'une station marégraphique n'a pas été modifiée : les champs relatifs aux données du Radar sont bien évidemment vides pour Huahine.

Le fonctionnement de la synchronisation de la centrale d'acquisition par sa propre antenne GPS a été vérifié par la commande *time*.

### Capteur barométrique Keller PR-36 XW

Un seuil de référence arbitraire doit être défini pour ce type de capteur par le paramètre « plevel » : 0,5 ou 10 m. Un offset de 0 m a été retenu pour le site de Huahine.

Les mesures du capteur de pression peuvent être faussées par de fortes variations de la densité de l'eau de mer. Des mesures de température et de salinité ont été menées :

- entre Haamene et Fare (situé plus à l'ouvert de la passe) : elles sont en parfaite cohérence (on trouve une densité identique de 1,0225 kg/dm<sup>3</sup> par la formule IES 80) ;
- sur la durée de la mission d'installation à Haamene : aucune variation n'a été constatée, malgré les quelques jours de pluies rencontrées.

En conditions normales, on peut donc conclure que la rivière n'influe pas sur ce paramètre. Cela restera à étudier en cas de très fortes pluies.

### Réseau électrique basse tension de la station

La station dispose d'un réseau basse tension 12 V DC, composé d'un panneau solaire, d'un régulateur de charge fournis par le CEA/LDG et de la batterie de la centrale d'acquisition Vaisala.

Le besoin énergétique est le suivant :

Équipement	Conso.	Durée	Énergie journalière
Centrale d'acquisition	50 mA	24 h	14,4 Wh/j
Émetteur satellitaire	4 A	10 s/5 min	38,4 Wh/j
Total majoré			52,8 Wh/j

Compte tenu de ce bilan énergétique et en appliquant les coefficients classiques de pertes énergétiques, le fonctionnement est assuré par les éléments suivants :

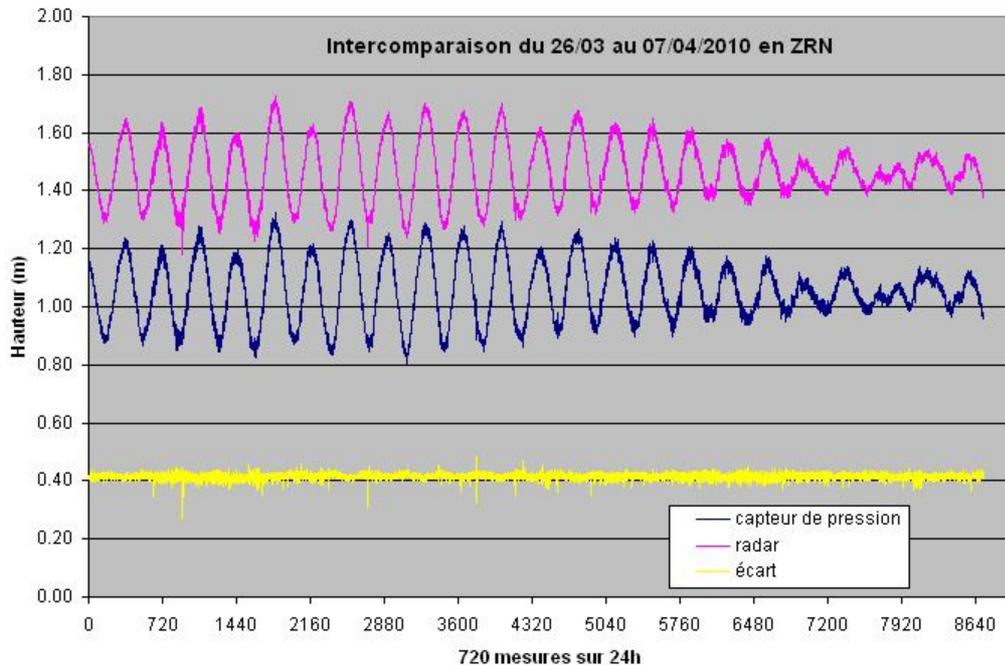
- la batterie d'une capacité de 312 Wh permet l'alimentation du système pendant 4,7 jours (coefficient de 0,8 pour le rendement des batteries), ce qui est une hypothèse extrême de rayonnement solaire nul, y compris en période humide ;
- le module photovoltaïque d'une puissance crête de 20 W permet la recharge en 1h40 de la consommation intervenue pendant la nuit (nuit de 14 heures et en prenant un coefficient de 0,9 pour le rendement du module).

### 4.3.3 Confirmations métrologiques du système

Le système mis en œuvre doit être confirmé métrologiquement après une recette de bon fonctionnement.

### Recette du capteur de pression

Le fonctionnement du capteur barométrique Keller PR-36XW S/N 43848 a été validé par une intercomparaison menée en ZRN à Papeete avec le Radar VegaPuls62 S/N 12669531, sur la période du 26 mars au 7 avril 2010. Les résultats présentés ci-dessous donnent un écart type très satisfaisant de 9,5 mm et permettent de déclarer ce capteur fonctionnel :

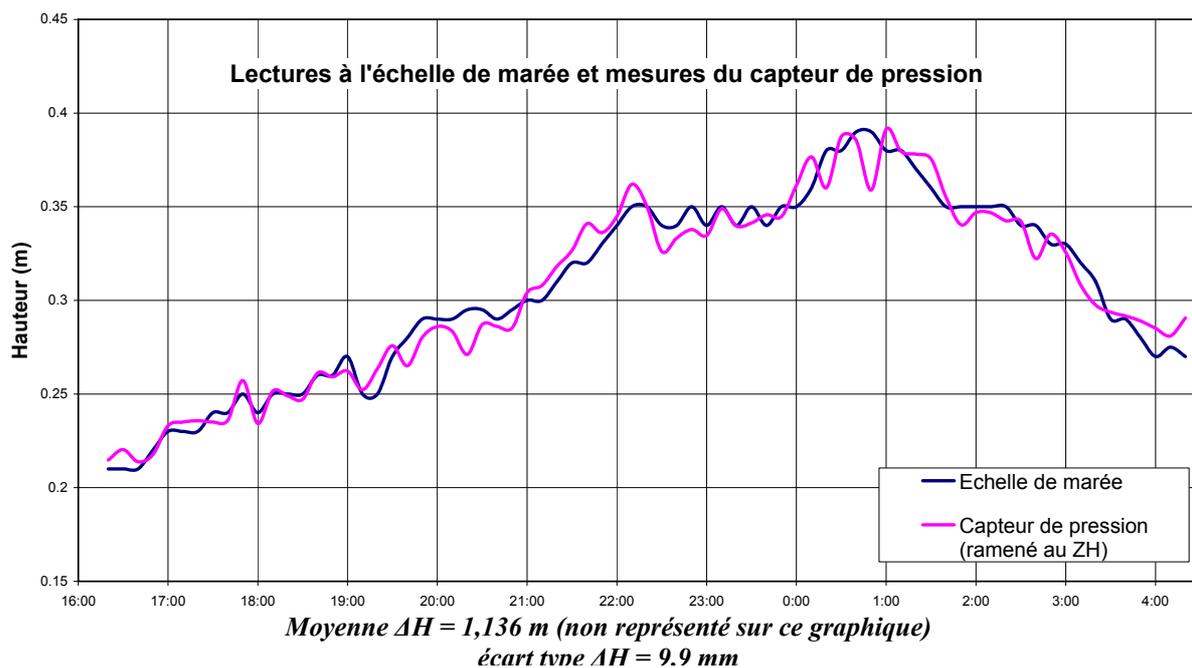


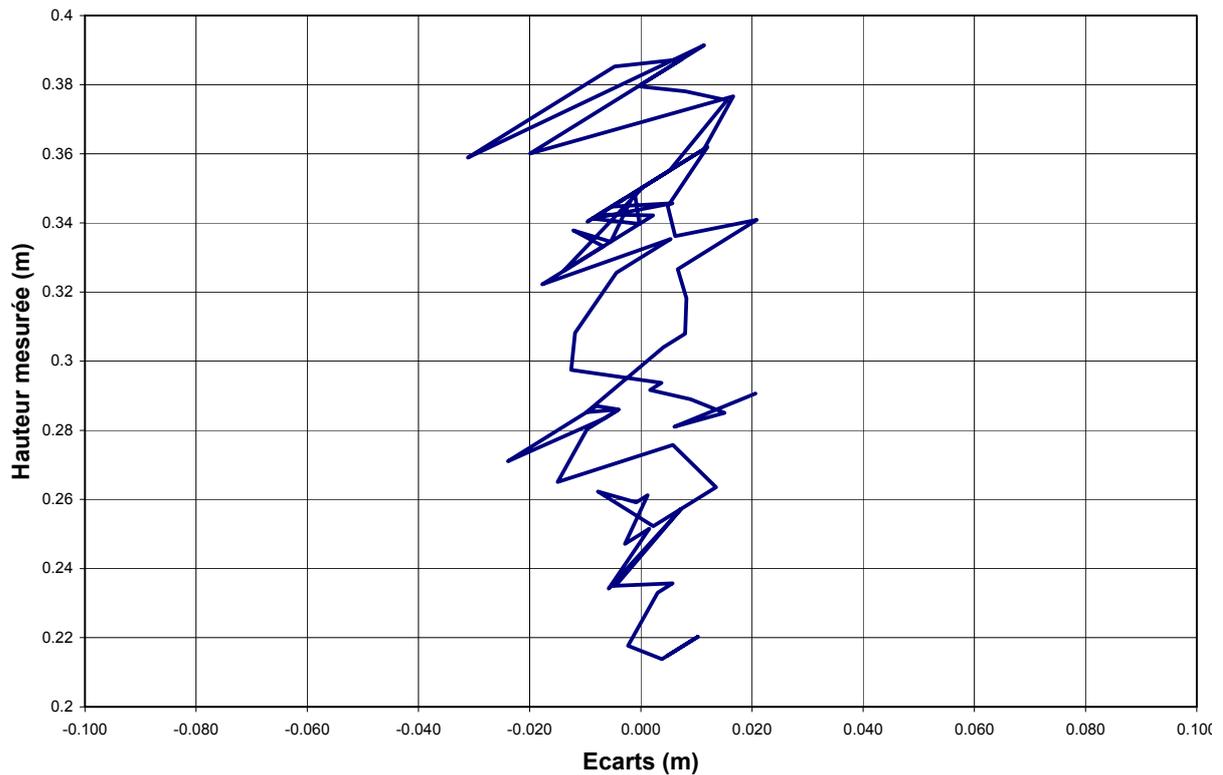
**Moyenne  $\Delta H = 415$  mm** (en parfaite cohérence avec la distance Radar - capteur de pression lors des essais)

**Ecart type  $\Delta H = 9,5$  mm**

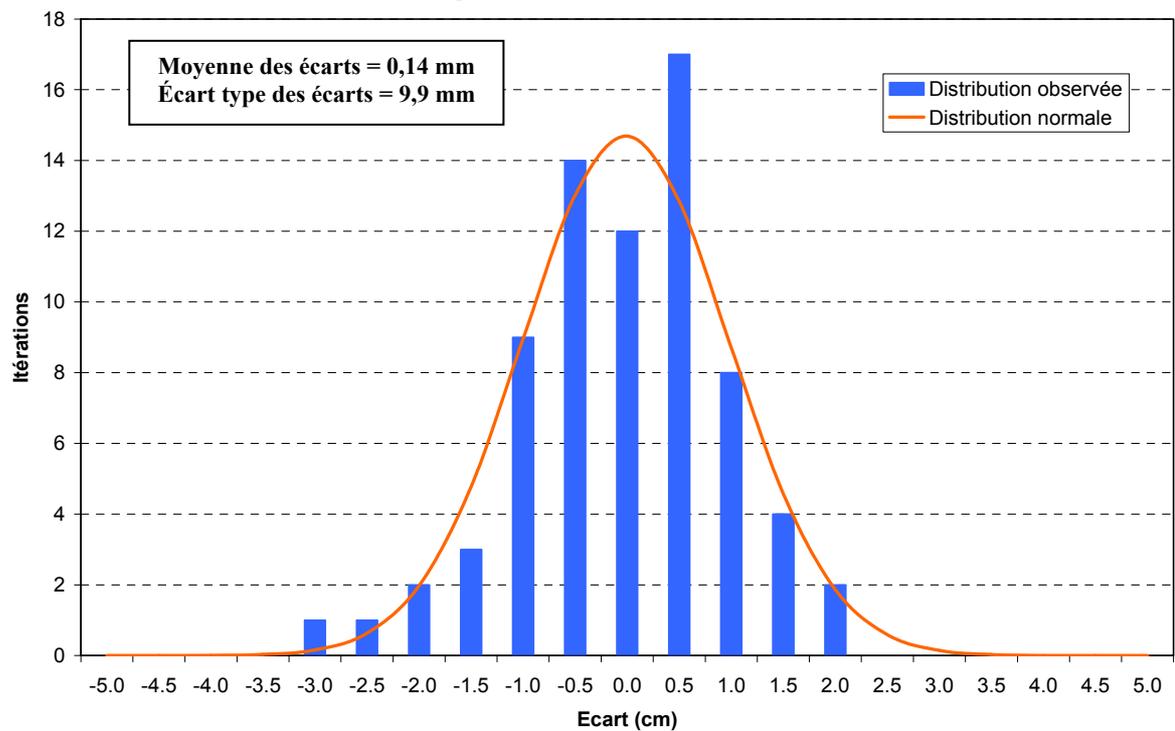
### Confirmation métrologique des mesures de hauteurs d'eau

Cette confirmation a été réalisée *in situ* à Haamene par un test de Van de Castele par comparaison des mesures du capteur de pression avec les hauteurs d'eau lues à l'échelle de marée :





*Diagramme de Van de Castele*



*Distribution des écarts*

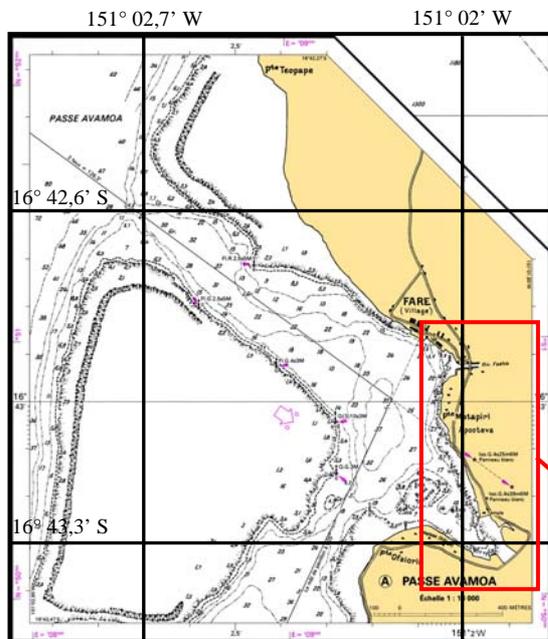
La moyenne des écarts entre lectures à l'échelle et mesures du capteur de pression (1,136 m) a donc été retenue comme côte du zéro instrumental du capteur par rapport au zéro hydrographique. L'écart type de 10 mm obtenu avec de simples lectures à l'échelle confirme la justesse et la fidélité du système. Le diagramme de Van de Castele ne laisse apparaître aucune anomalie.

## Confirmation métrologique des mesures géodésiques

Les GPS utilisés pour définir l’empreinte géodésique ont été vérifiés en ZRN.

### 4.3.4 Premiers résultats

Comme pour les autres sites installés précédemment, une empreinte géodésique a été initiée :



Extrait CM 6434 – Cartouche A  
(échelle d’origine 1 : 10 000)

GEN  
D

DEQ  
(C)

HAA1  
(A)

HAA2  
(B)



#### 4.3.5 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 GOP maintient les réserves suivantes, déjà exprimées précédemment aux partenaires :

- l'absence d'abri va réduire la durée de vie de cette station : malgré les précautions d'étanchéité prises au niveau du coffret, l'électronique va subir plus massivement les agressions de l'environnement tropical et salin. Lors des cyclones, les témoignages recueillis sur place font prévoir que la station se retrouvera littéralement « le pied dans l'eau » ;
- la rivière présente à proximité constitue un risque réel d'endommagement de la station en cas de très fortes pluies : les troncs charriés dans cette baie par la rivière pourraient arracher le capteur de pression (la protection offerte en retrait d'une palplanche est bien maigre). De plus, crue et apport d'eau douce sont susceptibles de fausser les données délivrées par cette station ;
- le quai de Haamene présente un risque fort d'enfoncement incompatible avec une installation dans un abri ;
- outre ces causes naturelles, tous les contacts pris localement envisagent des actes de vandalisme infligés à cette installation sur mâtereau. Les aériens restent relativement accessibles à une personne qui aurait des intentions malveillantes. Sur place, le capitaine des pompiers a assuré qu'il interviendrait dans les écoles pour sensibiliser les enfants, dans l'espoir de toucher les adultes.

**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.

Dans le cadre des visites périodiques de maintien en condition opérationnelle, outre les dispositions déjà prévues pour l'ensemble des sites, le cas particulier de Huahine nécessite :

- une visite semestrielle : il ne s'agit pas d'une recommandation mais d'un impératif lié à cette installation « légère » ;
- le matériel suivant (qui contrairement aux autres stations n'est pas dans l'abri) : câble de service, clés du coffret Himmel et le nécessaire de remplacement des haubans (ridoirs, élingue).

## 5 BIBLIOGRAPHIE

- [1] François Schindelé, Hélène Hebert, Dominique Reymond, Anthony Sladen. « L'aléa tsunami en Polynésie française : synthèse des observations et des mesures ». *Comptes Rendus Géosciences* (Volume 338, Issue 16, December 2006, Pages 1133-1140, ISSN 1631-0713, DOI: 10.1016/j.crte.2006.09.010).
- [2] Anthony Sladen, Hélène Hebert, François Schindelé, Dominique Reymond. « L'aléa tsunami en Polynésie française : apports de la simulation numérique ». *Comptes Rendus Géosciences* (Volume 339, Issue 5, April 2007, Pages 303-316, ISSN 1631-0713, DOI: 10.1016/j.crte.2007.03.001).
- [3] Sahal A. « Le risque tsunami en Nouvelle-Calédonie et à Wallis-et-Futuna : impacts, perception et mobilisation, 2008 ». *Compte rendu de mission* pour le Secrétariat d'Etat à l'Outre-Mer, Ministère de l'Intérieur, République Française.
- [4] Sahal A., Pelletier B., Chatelier J., Lavigne F. et Schindelé F. « Un catalogue des tsunamis en Nouvelle-Calédonie du 28 Mars 1875 au 30 Septembre 2009 ». *Les Comptes Rendus de l'Académie des Sciences* (série Géosciences, 2010, sous presses).
- [5] Roland Courteau. « L'évaluation et la prévention du risque du tsunami sur les côtes françaises en métropole et outre-mer » fait au nom de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques. *Rapport n° 117* (2007-2008 - <http://www.senat.fr/notice-rapport/2007/r07-117-notice.html>)
- [6] Musson-Schindelé. *Rapport de Mission en Nouvelle-Calédonie* (25 juillet-2 août 2007)
- [7] Lannuzel Serge. « Réseau géodésique de Polynésie française : synthèse des campagnes DORIS et détermination des décalages avec les systèmes géodésiques locaux ». *Rapport d'étude SHOM n° 2/1999*.
- [8] CEA/DASE. *Dossiers scientifiques*, [http://www-dase.cea.fr/vie\\_scientifique/som\\_dossier.php?lang=fr](http://www-dase.cea.fr/vie_scientifique/som_dossier.php?lang=fr)
- [9] Wöppelmann G., Allain S., Bahurel P., Lannuzel S., Simon B. Zéro hydrographique : vers une détermination globale, *Revue XYZ n°79*, 2<sup>ème</sup> trimestre 1999.

## ANNEXE 1 : spécifications techniques d'une station du niveau de la mer

### A1-1 Exigences fonctionnelles matérielles

L'ensemble des matériels pourra être installé dans des zones isolées avec ou sans alimentation secteur disponible, d'où l'intérêt de prévoir une alimentation par le secteur 220 V AC et/ou par une autre source d'énergie, typiquement l'énergie solaire.

**Afin de faciliter l'expression de besoins pour une telle station, un exemple d'architecture est présenté en figure 1 (voir §1.9). Cet exemple n'est pas fermé et n'est pas exprimé en tant que solution technologique, aussi toute proposition sera considérée avec intérêt.**

#### A1-1.1 Armoire

L'armoire sera suffisamment dimensionnée de façon à recevoir au moins la centrale d'acquisition, l'alimentation électrique, l'émetteur satellitaire. Elle devra être équipée de fixations permettant de l'intégrer soit sur une surface plane verticale, soit sur un mât cylindrique vertical.

Les interfaces de l'armoire, notamment les passages de câbles, doivent respecter au moins l'indice de protection défini pour l'armoire.

Il est souhaitable de pouvoir également y intégrer le capteur GNSS géodésique.

Les éléments installés à l'intérieur de l'armoire doivent pouvoir être fixés aisément. Le système de rail DIN est souhaitable.

#### A1-1.2 Alimentation électrique de l'armoire

L'alimentation électrique de l'armoire a pour objectif d'assurer la bonne alimentation des équipements intégrés dans l'armoire (et par conséquent celle également des capteurs et antennes actives). Cette fonction est donc essentiellement une distribution énergétique de la basse tension présente en entrée de l'armoire. La solution particulière du candidat vis-à-vis du capteur GNSS géodésique sera détaillée.

Chaque équipement devra être commuté individuellement. Chaque départ doit être équipé d'une protection thermique correctement dimensionnée, le candidat précisera le type de protection retenu.

Il est possible (comme présenté sur la figure 1) que l'alimentation électrique de l'armoire dispose de sa propre batterie, notamment afin de pouvoir être isolée du réseau d'alimentation de la station. Dans ce cas, la recharge flottante de cette batterie doit être prise en compte par l'alimentation électrique de l'armoire. L'autonomie visée de cette batterie est de 12 heures pour un fonctionnement nominal de la station. Dans ce cas, la batterie devra être à électrolyte gélifié et étanche.

#### A1-1.3 Centrale d'acquisition

La centrale d'acquisition sera intégrée dans l'armoire. Elle sera équipée de connectiques afin de faciliter les opérations de maintenance sur les différents équipements. Elle sera alimentée par l'alimentation électrique de l'armoire.

Elle sera équipée :

- de voyant(s) (ou toute autre forme de signalisation) permettant de vérifier la réalisation des différentes étapes demandées au système, sans pour autant en connaître la nature ;
- de voyant(s) permettant de contrôler l'état de l'alimentation électrique ainsi que l'état de charge des batteries ; (souhaitable)
- d'un support mémoire amovible de format conventionnel (essentiellement Compact Flash ou Secure Digital) d'une capacité équivalente à 24 mois d'enregistrement (hors données GNSS géodésique).

L'horloge devra avoir une dérive inférieure à 1 minute/an, soit +/-2 ppm dans une gamme de fonctionnement de 10°C à 50°C.

Elle sera recalée régulièrement par l'horloge GPS de l'émetteur satellitaire (typiquement 1 fois par jour), pour éviter des dérives temporelles trop importantes.

Par construction, la centrale d'acquisition alimentera en permanence les capteurs, notamment le

télémetre Radar et le capteur de pression immergé, qui réalisent leurs mesures en permanence.

En cas de coupure électrique, une fois relancé, la centrale d'acquisition doit se trouver en état de fonctionnement nominal.

#### *A1-1.4 Télémetre Radar*

Le télémetre sera de type Radar à impulsions. Il sera équipé d'une antenne. Pour des raisons de qualité de réception et de mesure, il est souhaitable d'utiliser des capteurs utilisant le principe FMCW (Frequency Modulated Continued-Wave Radar).

Il sera intégré sur une potence et placé au dessus de l'eau, suffisamment écarté de tout obstacle pouvant influencer la mesure dans les conditions extrêmes. A titre d'information le marnage maximal rencontré est de l'ordre de 3 m. De même le tirant d'air maximal à marée haute de ce capteur devrait être de l'ordre de 4 m. La gamme de mesure [0 ; 10 m] devra donc pouvoir être couverte. Un dispositif de nivellement sphérique devra permettre d'ajuster l'axe du capteur verticalement une fois celui-ci intégré sur sa potence.

Dans le cas d'une intégration sur une surface plane, la potence doit présenter une embase robuste dont la fixation est assurée par 4 perçages, les entraxes horizontaux et verticaux devant être supérieurs ou égaux à 300 mm.

L'ensemble devra résister aux conditions extrêmes liées aux embruns d'eau de mer.

Il sera interfacé à la centrale d'acquisition à l'aide de l'interface numérique.

Le candidat précisera la longueur de câble maximale (au regard du protocole de communication utilisée) entre le capteur et l'armoire.

Enfin, les choix de l'antenne doivent être multiples afin de pallier éventuellement à une situation encore non identifiée.

Caractéristiques principales :

- signal numérique superposé à l'alimentation ;
- signal de sortie analogique 4-20 mA superposé à l'alimentation ;
- clavier et afficheur LCD permettant le paramétrage et la lecture des données brutes en temps réel ;
- indice de protection : IP 66 (primordial)/IP 67 (souhaitable) ;
- température d'utilisation de 0°C à +60°C ;
- incertitude de mesure de distance instantanée meilleure que le centimètre ;
- résolution des mesures au millimètre ;
- gamme de mesure minimale de [0 ; 10 m] ;
- zone morte inférieure à 50 cm.

A l'aide de ce capteur, l'erreur moyenne de mesure sur un cycle complet de marée devra être inférieure au centimètre (dans de bonnes conditions du plan d'eau).

#### *A1-1.5 Capteur de pression*

Le capteur de pression sera conçu pour une utilisation prolongée en eau de mer et pourra être intégré sur un montage (type rail + câble) permettant de le remonter pour un nettoyage périodique et de le redescendre à sa profondeur initiale. Le candidat pourra proposer d'autres principes d'intégration, notamment moins vulnérables face aux malveillances.

Il sera placé à environ 1 mètre en dessous du zéro hydrographique. Il permet de mesurer une pression absolue. La centrale d'acquisition peut ensuite appliquer à cette mesure des corrections notamment liées à la pression atmosphérique. Dans ce dernier cas, un capteur de pression atmosphérique doit pouvoir être géré par la centrale.

Pour autant dans la problématique tsunami, la mesure barométrique du niveau de la mer est importante pour le suivi de variations relatives importantes sur un horizon temporel relativement court (quelques heures).

Le candidat précisera la longueur de câble maximale (au regard du protocole de communication utilisée) entre le capteur et l'armoire.

Caractéristiques principales :

- signal numérique superposé à l'alimentation (souhaitable) ;
- signal de sortie analogique 4-20 mA superposé à l'alimentation. Ce signal de sortie est proportionnel de 0 à la pleine échelle du capteur ;
- indice de protection : IP 68 à l'immersion de la pleine échelle correspondante ;
- température d'utilisation de 0°C à +60°C ;
- incertitude de mesure de pression meilleure que 0,2 % ;
- résolution des mesures équivalente au millimètre ;
- gamme de mesure équivalente de [0 ; 10 m].

#### ***A1-1.6 Émetteur satellitaire***

*L'émetteur satellitaire sera intégré dans l'armoire. Son alimentation électrique sera gérée par la distribution électrique de l'armoire, soit vraisemblablement de l'ordre de 12 V DC.*

Il sera notamment compatible avec les satellites GOES et capable d'exploiter les flux de 100 Bauds, 300 Bauds et 1 200 Bauds disponibles via le réseau GOES.

L'émetteur sera équipé d'un dispositif (par exemple un voyant lumineux) de surveillance de l'émission des données.

L'émetteur comportera un récepteur GPS intégré utilisé par la station de surveillance du niveau de la mer pour la synchronisation des horloges, et notamment celle de la centrale d'acquisition. De ce fait, l'émetteur possèdera sa propre antenne GPS, dont le câble doit avoir une longueur minimale de 5 m. La fixation de l'antenne GPS devra pouvoir être réalisée sur un support plan horizontal ou sur un mât cylindrique vertical.

*L'antenne Yagi X sera ajustable en azimut de 0° à 360° et en site de 0° à 90°. Elle sera équipée d'un coaxial d'une longueur de 10 mètres*

Au même titre que l'ensemble des interfaces d'intégration mécanique de la station, les éléments de fixations des antennes de l'émetteur satellitaire seront réalisés de préférence en acier inoxydable, et à défaut de tout matériau robuste à un environnement salin, tropical et agressif.

*L'ensemble du matériel sera certifié par GOES.*

L'émetteur satellitaire sera apte à envoyer les messages formatés par la centrale d'acquisition, à raison de un message toutes les **T** minutes, **T** étant paramétrable de 1 à 60 (souhaitable) ou de 5 à 60 (primordial). Chaque transmission répète la précédente dans un souci de redondance et de contrôle de la datation.

Le message pourra être envoyé de préférence au format recommandé par le centre régional d'alerte : le PTWC (format CREX recommandé par l'OMM par exemple).

#### ***A1-1.7 Alimentation électrique externe***

Dans tous les cas, la station est alimentée par une alimentation électrique externe essentiellement composée d'un ensemble de batteries et d'un dispositif pour en assurer la recharge selon certains critères. Cette solution doit assurer une autonomie énergétique de la station de 5 jours minimum. L'énergie journalière à considérer pour le dimensionnement de cet ensemble est le majorant entre :

- 200 Wh/j ;
- total calculé par le candidat, en tenant compte d'une station complète, comme défini comme vision minimale par la figure 1.

Le candidat précisera les coefficients de pertes énergétiques ainsi que le rendement des batteries retenus pour ce bilan énergétique lors du calcul de la capacité de l'ensemble batterie.

Deux options sont envisagées en fonction des sites d'intégration :

- l'utilisation de secteur domestique 220 V AC pour la recharge et le maintien flottant de l'ensemble batteries. Le candidat précisera alors le type de batteries utilisé ainsi que le temps total pour une recharge intégrale des batteries ;
- l'utilisation d'un module photovoltaïque d'une puissance crête de « x » W afin de permettre la recharge intégrale (le candidat précisera le coefficient proposé pour le rendement des modules, tenant notamment compte de la salissure des modules) sur une période de 3 jours

ensoleillés (10 heures par jour). Durant cette charge, l'alimentation de la station doit également être assurée. Dans ces conditions, le module photovoltaïque doit pouvoir recharger en 3 heures la décharge de la batterie intervenue dans la nuit.

Dans les deux cas, en particulier l'énergie solaire, le candidat précisera l'architecture du réseau énergétique, notamment sur la nécessité d'un répartiteur de charge. Les flux énergétiques doivent pouvoir être visualisés par des voyants lumineux (recharge des batteries, alimentation normale, défaut détecté, etc.).

Par ailleurs, cette alimentation externe doit être équipée des protections nécessaires, notamment :

- un dispositif de disjoncteur différentiel secteur 30 mA à ré-enclenchement automatique (norme UTE C17-210) dans le cas du 220 V AC ;
- un filtre secteur ;
- des parafoudres secteurs pour tout type de régime de neutre TT, NT et IT.

L'ensemble de batteries sera suffisamment protégé pour éviter tout risque de pollution, le candidat précisera les solutions retenues.

### *A1-1.8 Capteur GNSS géodésique*

Ce capteur a pour objectif de permettre un calcul permanent, mondial et très précis de la position, en particulier la hauteur ellipsoïdale, de la station afin d'être capable de référencer les mesures de hauteur à une référence stable indépendante du site.

Il peut être soit intégré dans l'armoire principale, soit dans un coffret dédié. Dans ce dernier cas, le coffret doit présenter les mêmes caractéristiques de protection que l'armoire. Néanmoins le capteur GNSS doit également présenter un indice de protection minimal égal à IP 65.

Ce capteur doit présenter une conception orientée vers le besoin de station permanente géodésique. En outre il doit présenter une interface Ethernet afin de pouvoir être piloté et exploité à distance à l'aide de logiciels que le candidat précisera.

Il doit être capable de :

- suivre et acquérir les signaux L1 et L2 de 12 satellites GPS et 12 satellites GLONASS simultanément ;
- enregistrer les observations à des cadences de 1 s, 15 s, 30 s et 60 s.

Il doit être alimenté par l'alimentation électrique externe. Il est possible (comme présenté sur la figure 1) que l'alimentation électrique du capteur GNSS dispose de sa propre batterie interne, notamment afin de pouvoir être isolé du réseau de la station. Dans ce cas, il est souhaitable que la recharge flottante de cette batterie soit prise en compte par l'alimentation électrique du capteur. L'autonomie (initiale si la batterie n'est pas rechargée) visée de cette batterie est de 5 heures pour un fonctionnement nominal du capteur. Le candidat précisera le type de batterie utilisé.

Dans le cas d'un enregistrement des observations GNSS avec une cadence de 30 s, l'autonomie en mémoire doit être au minimum de 12 mois. Cette mémoire doit être sur un support extractible commun (CF ou SD essentiellement). Le candidat précisera la procédure et les précautions lors de l'extraction.

Dans le cas d'une liaison permanente avec le capteur afin de récupérer les données en continu, le candidat proposera différentes solutions technologiques en indiquant les contraintes nécessaires, notamment vis-à-vis des réseaux publics alors empruntés.

En cas de coupure électrique, une fois relancé, le capteur doit se trouver en état de fonctionnement nominal.

L'antenne GNSS associée doit être de type Choke Ring et pouvoir être équipée d'un radôme (de préférence hémisphérique). La stabilité des centres de phases doit être inférieure au millimètre d'une façon stationnaire. L'antenne doit être intégrée à son support à l'aide d'un pas de vis de 5/8" 11 UNC. Enfin il est souhaitable qu'elle soit conforme aux spécificités définies par l'IGS.

Le câble coaxial entre le capteur et l'antenne doit être robuste et à faibles pertes. Différentes longueurs doivent être prévues, de 5 m à 30 m.

Il doit être possible de relier le capteur GNSS à la centrale d'acquisition afin que le capteur transmette en permanence un indicateur sur l'état de bon fonctionnement. Cet indicateur pourra ensuite être exploité et transmis par les messages permanents.

Ce lot est optionnel. La capacité d'intégrer un capteur GNSS (énergie, interface avec la centrale d'acquisition) demeure primordiale.

#### ***A1-1.9 Pièces de rechange***

Le titulaire précisera de la manière la plus exhaustive possible les éléments de rechange nécessaires à un bon maintien en condition opérationnelle de premiers niveaux (réparation sur le terrain en particulier). Pour chacun de ces éléments, il fournira les prix et délais d'approvisionnement.

### **A1-2 Exigences fonctionnelles logicielles**

Pour l'ensemble de ces logiciels, il est primordial qu'ils soient compatibles avec le système d'exploitation Windows XP et versions supérieures. Le candidat précisera si ces mêmes logiciels sont également disponibles pour des systèmes d'exploitation autres.

La communication entre ces logiciels et les équipements sera assurée à l'aide soit de port série, soit de port USB ou encore de port Ethernet disponibles sur les ordinateurs hébergeant les logiciels.

#### ***A1-2.1 Logiciel de la centrale d'acquisition***

*Un logiciel devra permettre le paramétrage exhaustif de la centrale d'acquisition : utilisation des capteurs, calculs effectués, enregistrement des données, créations des rapports, transmission des données via le SMT, etc.*

En outre ce paramétrage complet de la centrale d'acquisition pourra être synthétisé et sauvegardé dans un fichier « de configuration » afin notamment de pouvoir déployer une configuration identique sur différentes stations.

#### ***A1-2.2 Logiciel d'extraction et de récupération des données***

Un logiciel permettra de récupérer les données enregistrées dans la mémoire interne de la centrale d'acquisition. Si le support amovible nécessite un logiciel particulier pour être exploité (pas souhaitable) alors ce logiciel devra être fourni.

Si besoin, ce logiciel permettra de convertir les données extraites en données ASCII. Ces données converties devront notamment être clairement lisibles et datées.

#### ***A1-2.3 Logiciel de mise en œuvre de l'émetteur satellitaire***

Un logiciel, qu'il soit directement en relation avec l'émetteur ou via la centrale d'acquisition, devra permettre de réaliser le paramétrage intégral de l'émetteur.

L'installation, l'utilisation, les fonctions générales du menu ainsi que le protocole de communication entre la centrale d'acquisition et la balise devront être totalement décrits dans la documentation.

Ce logiciel utilisera un PC standard avec port série ou USB (adaptation matérielle exigée).

#### ***A1-2.4 Logiciel de mise en œuvre du télémètre Radar***

Un logiciel, qu'il soit directement en relation avec le télémètre ou via la centrale d'acquisition, devra permettre de réaliser le paramétrage intégral du télémètre. A défaut, des commandes présentes sur le capteur permettront de réaliser ce paramétrage.

#### ***A1-2.5 Logiciel de mise en œuvre du capteur de pression d'eau (uniquement si le capteur est numérique).***

Un logiciel, qu'il soit directement en relation avec le capteur de pression ou via la centrale d'acquisition, devra permettre de réaliser le paramétrage intégral du capteur.

#### ***A1-2.6 Logiciel de mise en œuvre du capteur GNSS géodésique***

*Un logiciel devra permettre le paramétrage exhaustif du capteur.*

En outre ce paramétrage complet pourra être synthétisé et sauvegardé dans un fichier « de configuration » afin notamment de pouvoir déployer une configuration identique sur différents sites.

## A1-3 Gestion des données

### A1-3.1 Acquisition des données

Une fois la centrale paramétrée, elle doit piloter l'ensemble des capteurs. En terme d'acquisition des données, chaque capteur (hors capteur GNSS géodésique) doit pouvoir être interrogé tous les  $\Delta t$  secondes.

Ces mesures  $M_i$  sont alors stockées dans des registres mémoires temporaires, avant d'être traitées et/ou stockées dans la mémoire (interne et/ou externe).

### A1-3.2 Traitement des données

La centrale d'acquisition doit pouvoir notamment réaliser sur l'ensemble des mesures  $M_i$  effectuées les opérations simples suivantes :

- addition de plusieurs données entre elles, ainsi qu'avec des constantes définies par ailleurs dans le système ;
- multiplication avec des constantes définies par ailleurs dans le système ;
- conversion d'unité de mesure ;
- moyenne arithmétique sur certaines données définies.

A l'issue, le traitement de l'ensemble des  $M_i$  données aboutit à la création de la  $m$ -ième donnée (de la journée par exemple)  $D_m$ . Cette donnée  $D_m$ , aux additions de constantes et conversions près notamment, représente l'intégration sur les dernières mesures  $M_i$  ( $i$  allant de 0 à  $p$ ) réalisées espacées de  $\Delta t$ . Dans ce cas,  $p \cdot \Delta t$  représente la période d'intégration de la mesure  $M_i$ .

Le candidat précisera les capacités du système sur cet aspect.

### A1-3.3 Stockage des données

Des registres  $R_{n,j}$  ( $n$ -ième registre) doivent pouvoir être déclarés. Ils ont pour rôle de classer les données dans les mémoires interne et externe de la centrale d'acquisition. Ces registres peuvent être quotidiens, leur baptême est alors associé à la date du jour (jour  $j$ ).

Chaque donnée  $D_m$  ( $m$ -ième donnée calculée) est le résultat d'opérations mathématiques sur les mesures brutes ( $M_i$ ) et/ou les données précédentes ( $D_{m-1} \dots D_{m-t}$ ). Cette donnée  $D_m$  est alors datée (heure  $h$ , UTC) et devient la donnée  $D_{m,h}$ , qui est stockée dans le registre défini  $R_{n,j}$  visé.

L'ensemble de ces données est stocké via les registres dans les mémoires interne et externe de la centrale. Le candidat précisera les possibilités quant aux choix, aux transferts et autres sauvegardes entre ces deux mémoires.

Outre l'enregistrement permanent des données, les données  $D_{m,h}$  stockées peuvent être utilisées afin de créer les messages d'émission en temps quasi-réel (par exemple toutes les heures).

L'ensemble doit être dimensionné afin de pouvoir stocker 24 mois de mesures lors d'un fonctionnement nominal de la station (hors données capteur GNSS géodésique).

## A1-4 Séquençage des opérations

A titre d'exemple, il est primordial que la station puisse au moins réaliser les actions suivantes sur l'ensemble des capteurs (hors capteur GNSS géodésique) :

- 1 mesure  $D_{m,h}$  par minute, cette mesure étant moyennée sur  $M_i$  ( $i$  allant de 0 à  $p$ , et  $p$  supérieur ou égal à 1) ;
- stockage de chaque donnée  $D_{m,h}$  ;
- création toutes les  $T$  minutes des rapports comprenant les  $2 \cdot T$  dernières données  $D_{m,h}$ ,  $T$  allant de 5 à 60 ;
- expédition de chaque rapport toutes les  $T$  minutes.

## A1-5 Initialisation de la centrale d'acquisition

Avant toute mise en œuvre, l'utilisateur pourra initialiser entièrement la centrale d'acquisition via un interrupteur spécifique ou via une commande spécifique.

## **A1-6 Gestion des tests**

Le candidat prévoira un moyen de test rapide de la centrale d'acquisition et de ses capteurs (souhaitable).

## **A1-7 Mise à disposition des données vers sortie PC**

Les données stockées en mémoire doivent pouvoir être relues au moyen d'un PC raccordé à la centrale (liaison USB ou série) ou être récupérées à partir du support amovible.

L'extraction du support devra être spécifiée ainsi que la gestion usuelle de ce support (formatage, initialisation, recouvrement des données...).

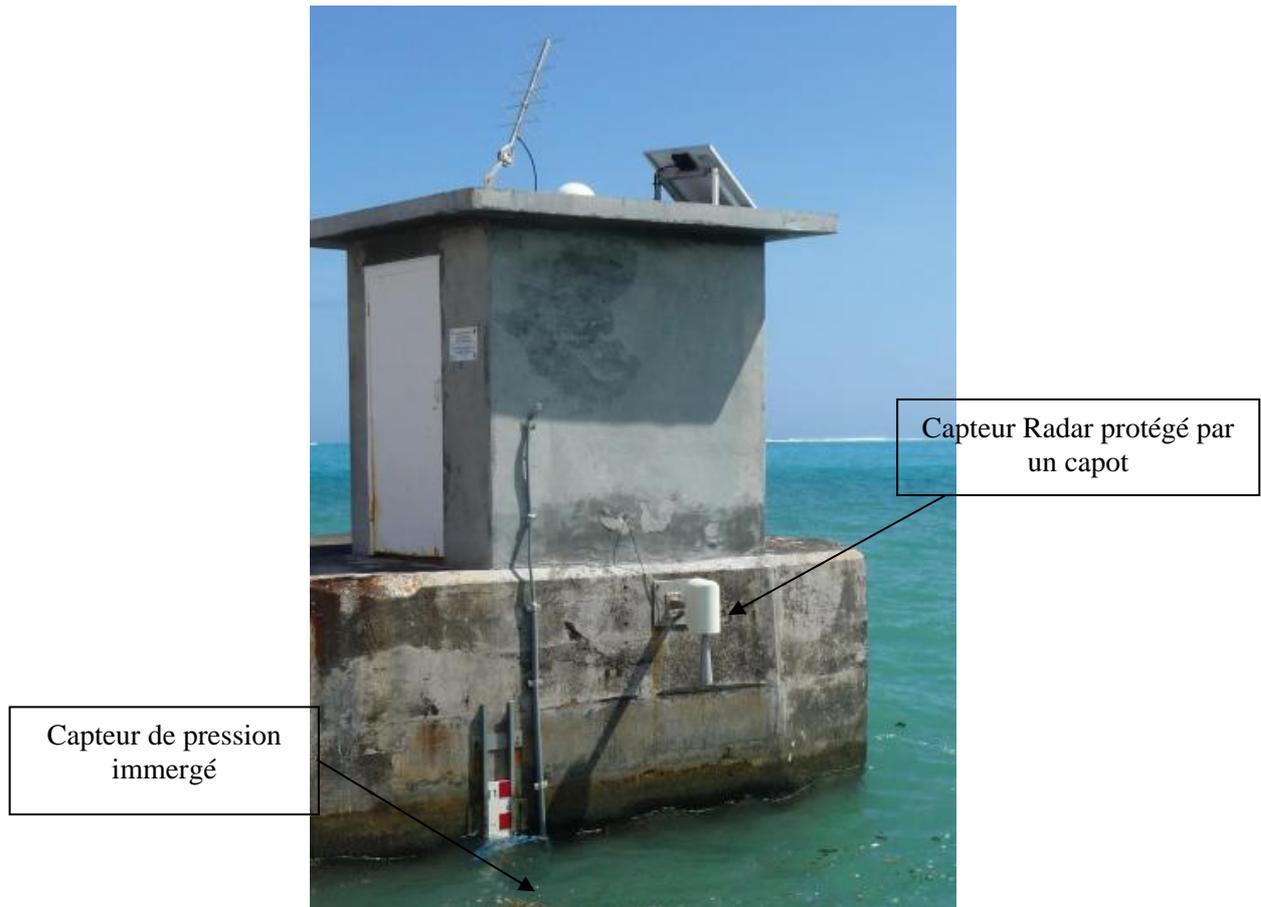
Par ailleurs, les possibilités d'interrogations des données seront spécifiées, que ce soit dans la version nominale du système ou vis-à-vis d'évolutions possibles : Internet, GPRS...

## ANNEXE 2 : caractéristiques de l'abri d'une station du niveau de la mer

### A2-1 Présentation

Le marégraphe se décompose en plusieurs équipements :

- une centrale d'acquisition (de type météorologique) à l'intérieur de l'abri,
- un capteur Radar très précis,
- un capteur de pression immergé très robuste (en redondance du capteur Radar),



*Station de Tubuaï : solution de type 2*

- une antenne GPS (de petite taille) de synchronisation de la centrale sur le toit de l'abri,



- une antenne Yagi de transmission par satellite sur le toit de l'abri,



- une alimentation électrique, composé d'un panneau solaire sur le toit et d'un régulateur et ses batteries à l'intérieur de l'abri.



Le GPS se décompose quant à lui en :

- un récepteur (électronique) à l'intérieur de l'abri,
- une antenne GPS de précision protégée par son radome sur le toit.



## A2-2 Exigences techniques pour l'intégration

Le cadre scientifique du projet (suivi du niveau moyen de la mer sur la durée) impose des contraintes importantes pour la construction de l'abri.

### A2-2.1 Durabilité

Il est prévu que ce projet soit conduit sur les cinquante prochaines années. L'abri doit donc être réalisé dans le respect strict des règles de construction (utilisation rigoureusement interdite de sable corallien ou sable de mer, prise en compte des charges climatiques en milieu tropical/zone cyclonique etc.).

Dans cette optique, un soin tout particulier doit être apporté à la porte de l'abri qui est placée dans un milieu salin :

- porte solide en acier inoxydable,
- couverture par peinture anti-corrosion,
- gonds très largement graissés dès l'origine,
- serrure et poignée robustes.

### A2-2.2 Intégration du GPS de précision

Afin de respecter l'objectif de suivi à long terme du niveau moyen de la mer, l'antenne du GPS doit être solidement intégrée dans une structure stable dans le temps et intimement liée au quai. A cet effet, est prévue dans un angle de l'abri une **pile de béton** conjuguée à une semelle d'ancrage dans le quai (dont l'ossature métallique est scellée dans le quai), sur laquelle sera installée l'antenne GPS.

Le plan en annexe 1 précise les dimensions de cette pile de béton, qui dépasse du toit d'une dizaine de centimètres pour former une embase et permettre la fixation de l'antenne GPS et son radome. Pour information, la procédure employée pour cette fixation est également indiquée en annexe 2 : on peut noter que le problème d'horizontalité de l'antenne est traité par les soins de l'équipe du SHOM. Le toit de l'abri peut donc avoir l'inclinaison nécessaire à l'évacuation de la pluie (typiquement 1 cm/m).

L'isolation du toit devra se faire par un matériau non métallique : par exemple, une couverture par film aluminium - zinc autoadhésif est à proscrire, car elle entraînerait de possibles multi-trajets des ondes électromagnétiques, néfastes au fonctionnement du GPS. Une isolation du toit par peinture élastomère (préférentiellement de couleur claire) est à privilégier : outre ses capacités d'étanchéité, elle est antidérapante et autorise le perçage par l'équipe du SHOM de trous pour la fixation des différentes antennes.

### A2-2.3 Intégration du Radar

Le capteur Radar émettant dans l'air (émission en champ libre), il doit être suffisamment dégagé du quai (30 cm minimum). Cette exigence permet d'envisager deux solutions pour la construction de l'abri :

- **Solution 1** : l'abri débordé du quai et la dalle de sol est percée pour accueillir une plaque sur laquelle est intégré le Radar ;





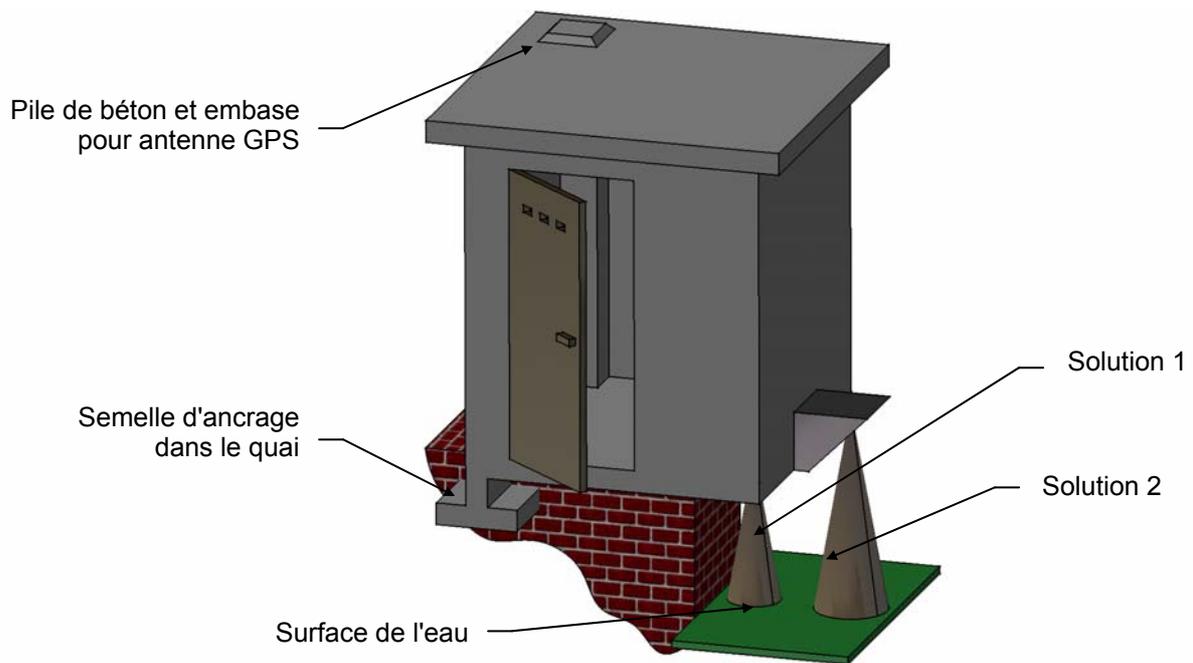
*Station de Nouméa : solution de type 1*

- **Solution 2** : le capteur est déporté par une structure fixée sur l'abri et accueillant le Radar (bras de déport allant de 30 cm minimum à 50 cm maximum).



*Station de Rangiroa : solution de type 2*

Les deux solutions sont présentées dans ce document, sachant que les spécifications de l'abri restent globalement identiques, éventuellement à la semelle d'ancrage près. Les dimensions de l'abri sont présentées en annexe 1. Dans ces conditions, le volume de béton est de  $4 \text{ m}^3$  pour une masse de 9,6t ( $d = 2,4$ ).



Le SHOM recommande la solution 2 de plain-pied en bord de quai, qui est plus simple à réaliser. Si cette solution 2 est retenue, il est important de noter que l'accès sur la face de l'abri côté mer sera délicat : un piton sur le toit doit donc être prévu et permettre les travaux (suspendus) d'installation du Radar et du capteur de pression côté mer : cette nécessité est d'autant plus forte si la profondeur d'eau rencontrée près de l'abri est importante et ne permet pas l'utilisation d'une échelle placée dans l'eau.

#### *A2-2.4 Option(s)*

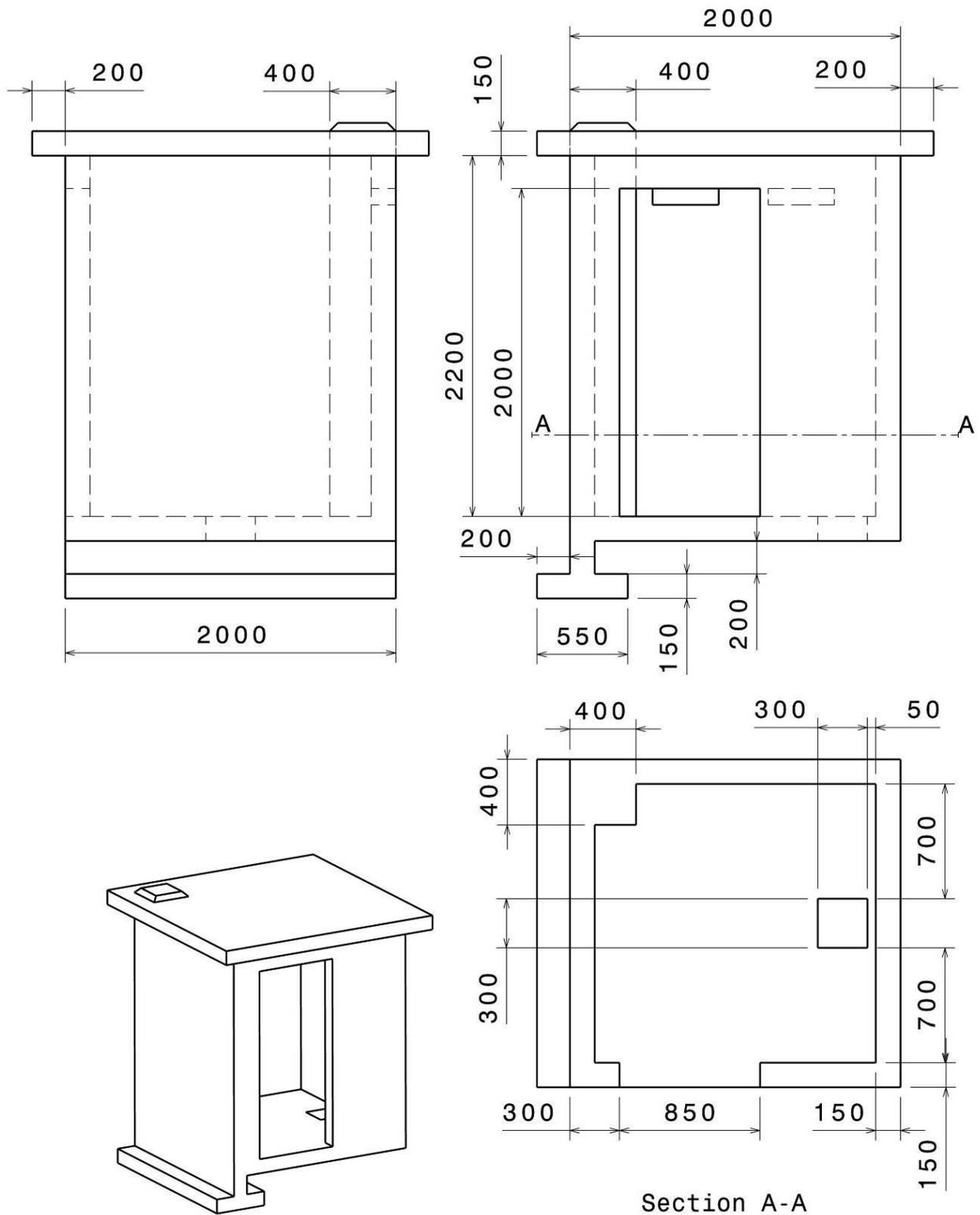
Si une alimentation électrique 220 V est accessible sur le quai, il est évidemment intéressant de raccorder l'abri pour bénéficier :

- d'une alimentation des équipements (le panneau solaire serait conservé comme redondance),
- d'un éclairage à l'intérieur de l'abri.

Eventuellement une ou deux briques de verre peuvent être installées pour laisser passer la lumière du jour dans l'abri.

Aucune ouverture d'aération n'est prévue dans l'abri : le retour d'expérience sur les stations déjà installées (la station de Tubuai a par exemple affronté le cyclone Oli en février 2010) montre que l'étanchéité du local doit être privilégiée.

### A2-3 Dimensions de l'abri



## A2-4 Mise en place de l'antenne GPS de précision

Mise en place de l'antenne AT504 GG



Pile GNSS dans l'angle du local. En béton armé, elle est intimement liée au sol et aux murs de la station.

Perçage de l'emplacement pour le support INOX. Le perçage doit être réalisé de façon à ce que l'antenne soit au nord en fonction du pas de vis ...



Nivellement sur les trois axes support. Ajustement à l'aide des vis. Opération à réaliser avant, pendant et après la mise en place de mortier chimique (temps de prise suffisamment long).

La croix de Malte laissée à poste, le temps que le mortier sèche correctement (au moins 12 heures).





*Le support une fois intégré*

Le mortier chimique représente la meilleure des solutions, notamment en comparaison avec du béton ou des éléments de fixations mécaniques. Que ce soit en terme de résistance climatique ou de risque de mouvement, le support GNSS devrait avoir la stationnarité escomptée pour les mesures à long terme.



*L'antenne dans son environnement, montée avec son radôme*

L'antenne est montée sur le support avec de la graisse cuivrée. Les connectiques sont protégées par de la graisse marine. Tout principe d'adhésif ou autre doit être banni : il ne protège pas des agressions (en particulier en milieu salin) et ne permet pas de contrôler le bon état des connectiques.

Entre l'antenne GPS Leica et le panneau solaire, on notera la petite antenne GPS, destinée à la synchronisation du système.

## ANNEXE 3 : IT prescrivant les travaux à réaliser par le GOP

### A3-1 Généralités

#### A3-1.1 Présentation générale et objectifs

A des fins de détection de l'aléa tsunami, le rapport du sénateur Courteau sur l'évaluation et la prévention du risque du tsunami sur les côtes françaises en métropole et outre-mer de la session ordinaire du 7 décembre 2007 préconise l'installation de marégraphes permanents dans le bassin Pacifique (Nouvelle-Calédonie, Wallis et Futuna, Polynésie française, et recommandation de coopération avec des États de la zone Pacifique). Ces marégraphes doivent permettre :

- de détecter une variation du niveau de la mer en lien avec un tsunami ;
- de participer à la gestion de la crise (notamment pour la levée de l'alerte) ;
- et enfin de modéliser et mieux connaître les tsunamis.

En parallèle, l'université de Polynésie française (UPF) a lancé un projet à long terme sur la surveillance du niveau moyen de la mer : des mesures de marée en continu sont également nécessaires et sont associées à des mesures GPS sur des séries temporelles longues.

Selon les sites, les deux besoins peuvent converger ou pas, et deux types de stations marégraphiques peuvent être installées :

- **type 1** : marégraphe permanent dédié à la détection de l'aléa tsunami (station d'alerte) ou à la surveillance de sa propagation (station de surveillance) ;
- **type 2** : marégraphe permanent associé à un GPS de haute précision pour la surveillance du niveau moyen de la mer et la détection de l'aléa tsunami.

Les sites prévus sont :

- Nouvelle-Calédonie : Hienghène, Touho, Thio, Ouiné, Ouvéa, Lifou, Maré ;
- Wallis et Futuna : Mata Utu (Wallis), Leava (Futuna) ;
- Polynésie française : Vairao, Huahine, Gambier, Bora-Bora, Rurutu, Tuamotu centre.

Parmi ces sites, le SHOM réalisera les installations dûment financées et conventionnées.

Dans tous les cas, les installations doivent permettre d'améliorer la connaissance de la marée.

#### A3-1.2 Travaux hydrographiques

Outre l'aménagement des sites sélectionnés et l'installation des équipements, les travaux hydrographiques à réaliser lors d'une installation consistent à :

- créer ou compléter un observatoire de marée associé à la station marégraphique (de type 1 ou 2) ;
- confirmer métrologiquement *in situ* le marégraphe (station de type 1 ou 2) ;
- déterminer la cote ellipsoïdale d'au moins un repère de la fiche d'observatoire de marée (FOM) avec une précision absolue centimétrique (station de type 1) ;
- créer une empreinte géodésique associée au récepteur GPS de précision (station de type 2).

L'empreinte géodésique permet de détecter un déplacement lent de l'île de l'observatoire. Sa création consiste à implanter de manière la plus pérenne possible (ou à reprendre) au moins 3 repères géodésiques :

- 1 à proximité immédiate (sur le même quai, dans le port...) du récepteur GPS dont l'antenne sera installée sur support stable (pile béton, mâtériau inox) ;
- 1 à une distance compatible avec un rattachement par nivellement orthométrique ;
- 1 plus éloigné pour vérifier la conformation de l'île (au maximum 30 km).

Au minimum, 2 points de l'empreinte géodésique seront donc intégrés à la FOM.

Tout point de référence (IGS, DORIS...) proche du site devra être inclus dans l'empreinte géodésique.

### A3-2 Intégration de la station marégraphique

#### A3-2.1 Intégration mécanique

Les consignes suivantes devront être respectées pour l'intégration mécanique des différents

équipements de la station marégraphique.

### **Généralités**

Les supports utilisés pour la fixation devront obligatoirement être confectionnés en acier inoxydable. Les fixations mécaniques devront être graissées.

Une échelle de marée devra être installée, si possible avec son origine au zéro de réduction des sondes.

Que ce soit pour une intégration sur mâtereau ou sur le toit d'un abri, il faudra veiller :

- à l'orientation et l'inclinaison du panneau solaire ;
- à l'orientation et l'inclinaison de l'antenne Yagi pointant vers le satellite du SMT ;
- au masquage de l'antenne GPS de synchronisation de la centrale d'acquisition ;
- selon les sites et leur fréquentation, la mise en place éventuelle de barbelés pour empêcher l'accès à ces aériens.

### **Capteurs**

Le capteur Radar sera installé de préférence 1,5 m au-dessus du niveau des plus hautes mers.

Le capteur de pression sera installé de préférence 1,5 m au-dessous du niveau des plus basses mers.

Les câbles de ces capteurs, particulièrement en extérieur, seront passés dans des tubes PVC de protection solidement fixés.

### **GPS**

Pour une station de type 2, l'intégration d'une antenne GPS de haute précision exige le respect des consignes suivantes :

- son support devra être le plus stable possible dans le temps : soit un mâtereau dédié en inox, soit une pile béton avec semelle d'ancrage dans le quai pour un abri ;
- le plan de référence de l'antenne devra être horizontal ;
- l'antenne GPS devra être orientée vers le nord en tenant compte de la déclinaison magnétique.

#### ***A3-2.2 Intégration électrique***

A défaut de disposer d'une alimentation en 220 V, une alimentation autonome par panneau solaire, régulateur de charge et batteries est à prévoir au sein d'un réseau basse tension 12 V. Sa capacité devra être suffisante pour tenir 5 jours sans ensoleillement.

Il faudra veiller à :

- éviter les pertes électriques ;
- isoler les blocs batteries du sol ;
- isoler les boîtiers électriques du mur ;
- protéger avec de la graisse silicone les connexions électriques.

#### ***A3-2.3 Intégration logicielle***

Pour la configuration du marégraphe permanent, on veillera à :

- déterminer le paramètre « distance » du Radar pour que ses mesures soient rapportées au zéro de réduction des sondes ;
- ajouter une référence arbitraire de 5 m aux mesures du capteur de pression ;
- négocier la transmission des données via un satellite du SMT à une fréquence de 5 minutes.

Pour une station de type 2, on veillera dans la configuration du GPS à :

- choisir une cadence d'enregistrement à 30 secondes ;
- segmenter les fichiers par 24 heures ;
- éventuellement transmettre le statut du GPS via le SMT.

### **A3-3 Géodésie – localisation**

#### ***A3-3.1 Système de nivellement, géodésique et projection***

Le tableau suivant récapitule les systèmes utilisés.

Système :	de nivellement	géodésique	projection
<i>Nouvelle-Calédonie</i>	NGNC*	RGNC** (ITRF90)	UTM dédié
<i>Wallis et Futuna</i>	NGWF*	RGWF** (ITRF94)	UTM dédié
<i>Polynésie française</i>	NGPF* selon île (pas de référentiel altimétrique local sinon)	RGPF** (ITRF92)	UTM dédié

\* Nivellement Général de Nouvelle-Calédonie  
 Nivellement Général de Wallis et Futuna  
 Nivellement Général de Polynésie française

\*\* Réseau Géodésique de Nouvelle-Calédonie  
 \*\* Réseau Géodésique de Wallis et Futuna  
 \*\* Réseau. Géodésique de Polynésie française

### A3-3.2 Précision verticale des rattachements géodésiques

Que ce soit pour déterminer la cote ellipsoïdale d'au moins un repère de la FOM (station marégraphique de type 1) ou pour créer l'empreinte géodésique (station marégraphique de type 2), il est nécessaire de garantir la précision verticale des rattachements géodésiques par rapport à l'ellipsoïde. Ceux-ci seront donc réalisés conformément aux spécifications du guide (GU) en vigueur dans le référentiel documentaire du SHOM à savoir :

« Deux cas de figure se présentent :

- si un repère du Réseau GPS Permanent (RGP) se trouve à proximité (quelques centaines de mètres) de l'observatoire, il suffira alors de le rattacher par nivellement de précision aux autres repères de marée. [...]
- si le repère du Réseau GPS Permanent (RGP) est éloigné de plusieurs centaines de mètres à plusieurs kilomètres du marégraphe, un repère de marée observable par GPS doit être rattaché à ce repère par GPS géodésique.

Pour obtenir une **précision** verticale **centimétrique** du positionnement GPS, il est nécessaire de réaliser des mesures GPS pendant au moins 24 h, afin de profiter d'une parfaite répétabilité de la constellation GPS limitant ainsi les erreurs systématiques liées à chaque satellite. Il est préférable de réaliser ces mesures **pendant** 48 h, ce qui permet de moyenniser deux sessions de satellites et d'assurer alors une meilleure intégrité de la solution obtenue. Avec 48 h de mesures, on peut estimer *a priori* la précision verticale à 2 cm à 95 %.»

Dans le premier cas de figure, on s'assurera que la pente du géoïde est négligeable entre le marégraphe et la station GPS (à partir de modèles de géoïde local ou global).

Le deuxième cas sera celui le plus fréquemment rencontré dans le Pacifique : pour obtenir une précision verticale centimétrique lors de l'installation de la station marégraphique, des observations sur 48 h seront à privilégier (par la suite lors d'une opération de maintenance, des observations sur 24 h seront acceptables).

### A3-4 Marée

Les mesures suivantes seront réalisées :

- la marée sera observée sur zone pendant une durée d'au moins 12 heures par le marégraphe permanent et en parallèle par lecture directe à l'échelle ou par tirants d'air à la sonde lumineuse : cette série de mesures constitue la confirmation métrologique *in situ* du marégraphe (test de Van de Casteele) ;
- la synchronisation temporelle de l'horloge de la station marégraphique sera vérifiée ;
- la conductivité *in situ* sera mesurée (une valeur moyenne est utilisée dans la station marégraphique).

Les FOM seront mises à jour avec les directives suivantes :

- dans la mesure du possible, une échelle de marée sera installée, de manière à ce que le zéro de l'échelle soit calé avec le zéro de réduction des sondes, nivelée et intégrée à la FOM. A défaut, un repère de tirant d'air sera créé ;
- le nivellement de l'ensemble des repères de la FOM sera réalisé (comme mentionné ci-dessus, au minimum 2 points de l'empreinte géodésique seront intégrés à la FOM) et les photographies des repères seront mises à jour ;

- des points remarquables de la station marégraphique tels que l'échelle de marée, le capteur Radar ou l'embase de l'antenne GPS seront nivelés et intégrés à la FOM ;
- au moins un repère de la FOM sera rattaché à l'ellipsoïde mondial GRS80 de l'ITRS (station marégraphique de type 1) ;
- chaque observatoire devra au minimum être équipé de 3 repères.

### **A3-5 Résultats et rédaction**

La FOM de chaque observatoire sera créée ou mise à jour.

Les points de l'empreinte géodésique feront chacun l'objet d'une fiche géodésique.

Les données seront traitées selon les procédures en vigueur.

Au fur et à mesure de l'installation de ces stations marégraphiques, les travaux achevés dans un observatoire feront l'objet :

- d'un compte rendu d'installation à destination des partenaires externes du projet ;
- d'un rapport particulier transmis en même temps que les documents de rédaction définitifs et les fichiers numériques en interne SHOM.

### **A3-6 Comptabilité**

Une comptabilité précise de l'utilisation des moyens et de l'emploi des personnels (travaux de préparation, travaux à terre et travaux de rédaction) sera tenue et figurera dans chaque rapport particulier. Ce point est d'autant plus critique que le SHOM sera associé par des conventions à établir à de nombreux organismes partenaires avec financements correspondants, auxquels il doit pouvoir fournir toute justification nécessaire.

## LISTE DE DIFFUSION

### Diffusion interne

total : 34 + 5 réserve

- DG	1
- DA	1
- DO	1
- DO/MIP	1
- DO/NAU	1
- DO/MGS	1
- DO/HOM	1
- HOM/TOULOUSE	1
- DSPRE	1
- DSPRE/COM	1
- DQMN	2
- GHA	1
- GOA	1
- GOA/BOM	1
- GOP/NOU	4
- GOP/PPT	4
- DQMN/DOC	4
- S. Lannuzel	4
- R. Créach	1
- Y.M. Tanguy	1
- Y. Dupont	1

### Diffusion externe (60)

#### Directions centrales

- Délégation Générale à l'Outre-mer (3 dont 1 à l'attention de M. Papet, chef de cabinet)
  - o 27 rue Oudinot
  - o 75007 Paris
- Direction de la sécurité civile
  - o 87-95, quai du Docteur Dervaux
  - o 92600 Asnières-sur-Seine
- Direction générale de la prévention des risques
  - o Grande Arche – paroi nord
  - o 92055 La Défense Cedex
- Secrétariat permanent pour le Pacifique
  - o 27, rue Oudinot
  - o 75358 PARIS 07 SP
- Secrétariat général pour la mer
  - o 16, boulevard Raspail
  - o 75007 Paris
- M. François Schindelé (représentant français au GIC/SATP)
  - o CEA/DAM Ile-de-France

- DASE
  - BP 12
  - 91680 Bruyères-le-Châtel
- Sénateur Courteau
- Sénat
  - Sénateur Courteau
  - Palais du Luxembourg
  - 15, rue de Vaugirard
  - 75291 PARIS Cedex 06

#### Nouvelle-Calédonie

- Haut-commissariat de la République en Nouvelle-Calédonie (6 dont 1 pour la DSC, 1 pour le chargé de mission Recherche et Technologie, 1 pour chaque commissaire délégué de la République dans les 3 provinces)
  - 1, avenue du Maréchal-Foch
  - BP C5
  - 98844 Nouméa Cedex
- COMSUP (2 dont 1 pour adjoint Mer)
  - Quartier Alleyron
  - BP Q1
  - 98851 Nouméa cedex
- Gouvernement de la Nouvelle-Calédonie :
  - Gouvernement (membre en charge du secteur des infrastructures publiques et du transport aérien domestique, terrestre et maritime ;membre en charge du secteur Agriculture, Pêche, Écologie et Développement Durable ;secrétaire général)
    - 8 Route des Artifices - BP M2 - 98849 Nouméa Cedex
  - DITTT
    - BP A2, 98 800 Nouméa Cédex
  - DTSI
    - 127, rue Arnold Daly - Magenta Ouemo
    - BP15101
    - 98804 Nouméa CEDEX
  - Service de la marine marchande et des pêches maritimes
    - 2, BIS RUE FELIX RUSSEIL - BP 36 - 98845 NOUMEA CEDEX
- Assemblée de la province nord (2 dont direction du patrimoine et des moyens)
  - BP 41 98860 Koné
- Assemblée de la province sud (2 dont direction de l'aménagement et du foncier)
  - BP L1 98849 Nouméa
- Assemblée de la province des îles Loyauté
  - BP 50 Wé 98820 Lifou
- IRD
  - 101 Promenade Roger Laroque - Anse Vata
  - BP A5 - 98848 NOUMEA Cedex
- ADECAL (2 dont 1 pour ZONECO)
  - 15, rue Guynemer BP 2384 - 98846 Nouméa CEDEX
- Université de Nouvelle-Calédonie
  - Pôle Pluridisciplinaire de la Matière et de l'Environnement
  - Campus de Nouville - BP R4 - 98851 Nouméa CEDEX
- AAMP en Nouvelle-Calédonie (2 dont 1 pour IFRECOR)

- 1 rue Marcel Creugnet - BP C5 - 98 844 *NOUMEA*
- Congrès de la Nouvelle-Calédonie
  - 1, boulevard Vauban
  - BP P3 98 851
  - Nouméa - Cedex
- Sénat coutumier
  - 68, av. James Cook
  - B.P. 1059
  - 98845 Nouméa CEDEX
- Météo France en Nouvelle-Calédonie
  - 5 rue Vincent Auriol - Faubourg Blanchot
  - BP 151 - 98845 NOUMEA CEDEX
- AFD Nouméa
  - 1, rue de Barleux BP J1 98849 *Nouméa* cedex
- Secrétariat général de la Communauté du Pacifique
  - CPS/SPC - BP D5 98848 Nouméa Cedex

#### Polynésie française

- Haut-commissariat de la République en Polynésie française (3 dont 1 pour la DDP, dont 1 pour le DRRT)
  - 43, avenue Bruat
  - BP 115
  - 98713 Papeete - Tahiti
- COMSUP (2 dont 1 pour adjoint Mer)
  - BP 9420
  - 98715 PAPEETE CMP - Tahiti
- Gouvernement de la Polynésie française :
  - Gouvernement (ministères de l'équipement, de l'urbanisme, de l'environnement)
    - Avenue Pouvanaa a Oopa - BP 2551 – Papeete - Tahiti
  - DEQ
    - BP 85 - 98713 Papeete - Tahiti
  - SAU (3 dont 1 pour la section topographie et 1 pour le représentant IFRECOR)
    - BP 866-98713 Papeete - Tahiti
  - Service de l'informatique
    - BP 4574 - 98713 Papeete - Tahiti
- AAMP en Polynésie française
- Université de Polynésie française
  - Laboratoire GEPASUD
  - BP 6570
  - 98 702 Faa'a – Tahiti
- Laboratoire de géophysique du CEA
  - *Laboratoire de Géophysique* - CEA - B.P. 640. PAPEETE Tahiti
- AFD Papeete
  - 2, rue Cook – Paofai
  - BP 578 - 98713 Papeete - Tahiti
- Météo France en Polynésie française
  - BP 6005 98702 Faa'a - Tahiti

## Wallis et Futuna

- Administration supérieure du territoire des îles Wallis et Futuna
  - o BP 16 Mata Utu 98600 Wallis
- Services de l'administration
  - o Service des travaux publics (2 dont 1 pour la subdivision des Phares et Balises)
    - BP 13 Mata Utu 98600 Wallis
  - o Service de l'environnement
    - BP 294 Mata Utu 98600 Wallis

### **Diffusion numérique**

Site internet SHOM

Version « pdf »







## Service hydrographique et océanographique de la marine

### SHOM

téléphone (+33) 2 98 22 15 84

télécopie (+33) 2 98 22 05 91

mél. : [shom-sec@shom.fr](mailto:shom-sec@shom.fr)

### Adresse postale civile

13, rue du Chatellier

CS 92803

29228 BREST CEDEX 2 - France

### Adresse postale interarmées

BCRM de BREST - SHOM

CC08 - 29240 BREST CEDEX 9

### Coordonnateur NAVAREA II

téléphone (+33) 2 98 22 16 67

télécopie (+33) 2 98 22 14 32

mél. : [coord.navarea2@shom.fr](mailto:coord.navarea2@shom.fr)

### Service commercial

téléphone (+33) 2 98 03 09 17

télécopie (+33) 2 98 47 11 42

mél. : [distribution@shom.fr](mailto:distribution@shom.fr)

### Accueil téléphonique

Pour tous renseignements : (+33) 2 98 22 17 47

### Internet

[www.shom.eu](http://www.shom.eu)

[www.shom.fr](http://www.shom.fr)

Certifié « ISO 9001 : 2008 » pour l'ensemble de ses activités