

3 - Perspectives 2011-2015 : Maintenance, Etudes

Entretien des installations TELSITE

Mission de maintenance

La mission de maintenance préventive annuelle a eu lieu en 2010 du 29 avril au 12 mai. Les missions de maintenance préventives seront poursuivies.

Fiabilisation de la liaison M4

La liaison de secours M4 a tendance à se bloquer relativement souvent. Lors de la mission de maintenance 2009, une nouvelle technique à partir du service BGAN 300 d'Inmarsat a été mise en place en parallèle de la liaison M4, pour tests (afin de profiter de la couverture satellite du Pacifique prévue en 2009). Ce BGAN 300 (transmissions intercontinentales) a été remplacé par un BGAN explorer 700 lors de la mission de maintenance 2010 et fonctionne de manière satisfaisante, toujours en parallèle de la liaison M4.

Cette dernière sera définitivement remplacée lors de la mission 2011.

Liaison VSAT Mururoa

Les services de Papeete passeraient par l'utilisation d'un système déployé et opéré par France Telecom, et utilisé pour les stations OTICE du DASE. Cependant, cette solution amènerait des modifications de l'architecture du système en base arrière. Les réflexions sur ce sujet doivent être approfondies.

Capteurs de submersion

Le déplacement des capteurs de submersion en Irène et en Viviane, qui ne sont pas en pleine eau, est envisagé. Un remplacement du marégraphe situé dans la darse Anémone est également à l'étude.

Rénovation du système de centralisation sur site

Les Unités de Transmission et de Stockage (UTS) assurant la centralisation de données du système TELSITE ne posent pas de problèmes actuellement. Mais en cas de besoin, le matériel devenant obsolète, on ne saura pas faire évoluer les UTS actuelles. Une action de remplacement par des systèmes standard (SMAD), développés au DASE, pourrait être envisagée dans les 3 à 5 ans.

Installation de stations de surface de secours

En 2006, une station de surface destinée à pallier préventivement une défaillance des géophones implantés au PK5 a été installée. Elle n'est pas raccordée au système d'alerte, mais peut être basculée sur celui-ci si le géophone venait à être perdu. Une expertise de tous les géophones a été effectuée lors de cette mission. Les géophones sont en place depuis 1994 et sont donc implantés depuis une durée plus longue que la durée de vie de ceux qu'ils avaient remplacés (soit une dizaine d'années). Ces mesures mettent en évidence la dégradation progressive des capteurs de la zone nord provenant vraisemblablement

pour une bonne part, des câbles de transmission de mesures. L'installation de stations de surface, en tête de puits des stations Camélia, Françoise et Simone⁷ est prévue en 2011 [53]. L'objectif de l'installation de ces stations est double : 1) Assurer un secours en cas de perte inopinée d'un géophone en profondeur ; 2) Acquérir du bruit de fond afin de permettre des comparaisons surface/profondeur.

Réflexion sur le remplacement des capteurs défectueux

Certains signes de vieillissement commençant à apparaître (blocage de câble en forage incliné, usure de câbles de mesures), une réflexion sur l'évolution de l'instrumentation en profondeur installée il y a 15 ans a été effectuée (réf. [51]). En parallèle, comme cela a été fait pour la station IRENE (PK5), afin de pallier les éventuelles défaillances inopinées de capteurs géophones en puits, l'installation de stations sismiques de surface, en tête de puits des stations GEO8, GEO10 et SIMONE a été étudiée (réf.[53]) et sera réalisée courant 2011. Ces installations devront également permettre l'analyse, sur la durée nécessaire, du bruit de fond et d'étudier la détectabilité relative de stations en surface et en profondeur.

Localisation des événements sismiques

Afin de mieux suivre la microsismicité subsistant, l'effort débuté en 2007 sera poursuivi pour permettre la localisation fine des événements.

Compléments de calculs d'effets hydrauliques

Les études concernant les effets hydrauliques en zone proche et sur des atolls voisins ont été affinées. La dernière utilisation des codes de calculs d'effets hydrauliques remontant à 1998, une remise à niveau des codes a été entreprise depuis 2006, afin notamment de prendre en compte l'aspect dispersif, non considéré en 1998. Il s'agit d'estimer les effets prévisionnels consécutifs à des glissements de terrain en zone nord-est, aussi bien vis-à-vis de la zone proche de la source, que les effets hypothétiques sur des rivages distants (atoll de Tureia, situé au nord de Mururoa). Des compléments de calculs par rapport à l'existant ont été entrepris. Ils ont porté tout d'abord en 2007 sur le calage de ces outils sur les observations de l'événement consécutif à la vague Tydée de 1979 (pour lesquels on dispose d'observations en zone proche et à 30 km de distance), pour ce qui concerne les effets locaux (réf. [37]). Des calculs ont été réalisés en 2008 pour la simulation d'effets prévisionnels hydrauliques consécutifs à des glissements de terrain en zone Irène (réf. [40]). Des calculs ont été poursuivis en 2009 en 2010 avec la prise en compte de scénarios concernant la zone Camélia [54].

Projet de cartographie haute résolution par imagerie aérienne

Etant donné les moyens importants à mettre en œuvre environ tous les 5 ans pour le suivi de l'évolution du site de manière plus globale, une première analyse de faisabilité a été conduite en 2006 pour évaluer l'apport respectif des techniques d'imagerie optique et satellitaire à la surveillance de l'atoll (réf.[31]). Cette étude, ainsi que les difficultés opérationnelles rencontrées lors de deux essais d'acquisition

d'images en 2004 et 2006, ont conduit à proposer un projet d'acquisition d'images aéroportées haute résolution, qui permettra de surveiller l'évolution des zones inaccessibles des atolls de Mururoa ou Fangataufa, et notamment l'observation de la fracturation sous-marine (réf. [47], [48]). Une campagne a été réalisée fin 2010 à partir d'appareils de type légers (drones). Cette campagne fait suite à un appel d'offre sur la base d'un cahier des charges très précis sur les conditions d'acquisition (réf.[50]).

Veille scientifique en imagerie satellitaire

L'acquisition d'images satellites ainsi qu'une veille scientifique sur les techniques satellitaires et leur apport a été effectuée en 2009 et sera poursuivie [52].

CONCLUSION POUR LES PERSPECTIVES

L'effort de localisation plus fine des événements sismiques sera poursuivi.

Etant donné le vieillissement des équipements de mesure, les perspectives d'évolution de l'instrumentation en profondeur fait l'objet d'une réflexion au travers d'un groupe de travail. En parallèle, des capteurs de surface seront mis en place à partir de 2011 en tête de puits des géophones pour pallier des déficiences inopinées et également poursuivre l'analyse comparative des données de surface/profondeur.

Des essais de recherche d'une solution plus fiable de transmissions de secours site-métropole entreprise à partir du système BGAN étant satisfaisants, la liaison Inmarsat M4 sera remplacée par le système BGAN 700 en 2011.

La rénovation du système de centralisation des mesures au niveau du PCT à Mururoa (UTS), qui n'a pas été effectuée en 2005, sera à prévoir dans les 3 à 5 ans.

4 - Bilan d'Instrumentation de l'atoll de référence Rangiroa sur 7 ans

Rappel des objectifs

Compte tenu de la tendance au ralentissement de la vitesse d'évolution géologique qui se poursuit depuis de nombreuses années, les performances des moyens de mesures disponibles risquent de devenir insuffisantes pour quantifier l'activité géologique résiduelle de Mururoa. Une solution intéressante consiste à comparer les observations réalisées à Mururoa avec des observations de même type réalisées sur un autre atoll n'ayant pas été sollicité par des explosions. Il a donc été décidé d'instrumenter un site de référence.

Ce site doit présenter le maximum de similitudes géologiques avec l'atoll de Mururoa afin de pouvoir observer et mesurer des paramètres comparables. Dans l'analyse des phénomènes morphologiques et structuraux, on doit s'attacher à différencier les phénomènes associés à une réelle activité géomécanique de ceux associés aux effets de cyclones et tempêtes, tels les blocs cyclopéens présents sur certains atolls. Les critères de sélection, de similitude et description géomorphologique, exposés dans le document (réf. [6]), nous ont amenés à choisir l'atoll de Rangiroa.

On peut observer sur la Figure 22 un plan de l'atoll donnant une indication sur sa géomorphologie et l'implantation des sites remarquables ou instrumentés. La Figure 23 avec des photographies prises sur site permet d'apprécier la morphologie du platier.

Compte tenu des contraintes logistiques et du besoin d'étayer l'analyse de similitude avant d'envisager une instrumentation plus lourde, il a été choisi de se limiter dans un premier temps à une adaptation des stations de surveillance sismique existantes de Rangiroa. La préparation du génie civil a été réalisée fin 2001 et la mise à hauteur des systèmes a été réalisée en mars 2002.

Cette adaptation de l'instrumentation de Rangiroa avait pour objectif d'atteindre des capacités de détection et de caractérisation proches des stations de surface à Mururoa. Pour ce faire, on a déplacé la station PMO (ou PMOR) vers la côte pour se rapprocher du secteur fracturé au nord ouest de Rangiroa.

Cette station a été équipée de sismomètres trois composantes. Comme la station VAH au sud, PMO voit sa fréquence d'échantillonnage passer à 100Hz. Le système de transmission local avec Avatoru a été remplacé par un système numérique – pour PMO via un relais à son ancien emplacement - et la centralisation locale a évolué vers une configuration standard.

Cette instrumentation rénovée ne devrait cependant permettre d'enregistrer que les événements sismiques les plus forts, de façon analogue à ceux enregistrés en zone nord-est de Mururoa par les stations sismologiques de surface.

Etant donnée la faiblesse de la sismicité enregistrée, le fonctionnement des stations dans le cadre du projet Surveillance des Sites n'est plus financé depuis 2006. Une activité sismique, bien que très faible, est malgré tout enregistrée en 2005, 2007 et 2009. Nous reportons ci-après le bilan des observations sismiques sur la période 2003- 2009.

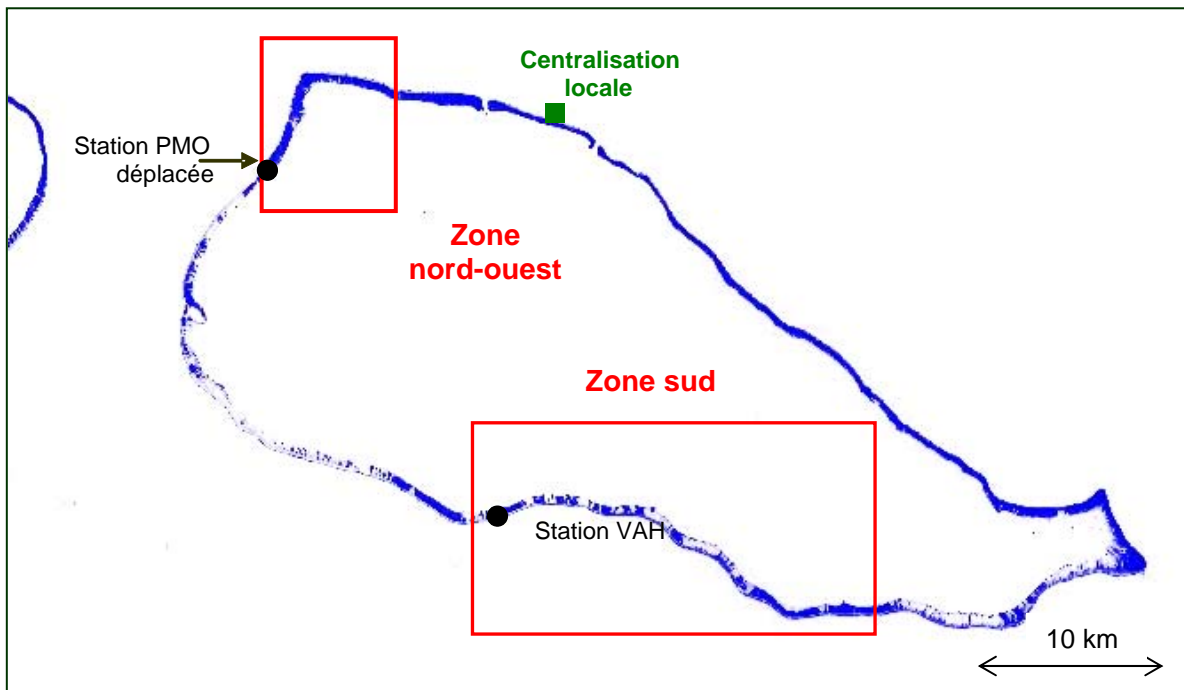


Figure 22 : Image SPOT de Rangiroa avec la position des sites et des stations existantes. Au nord-ouest est visible une portion de l'atoll de Tikehau.

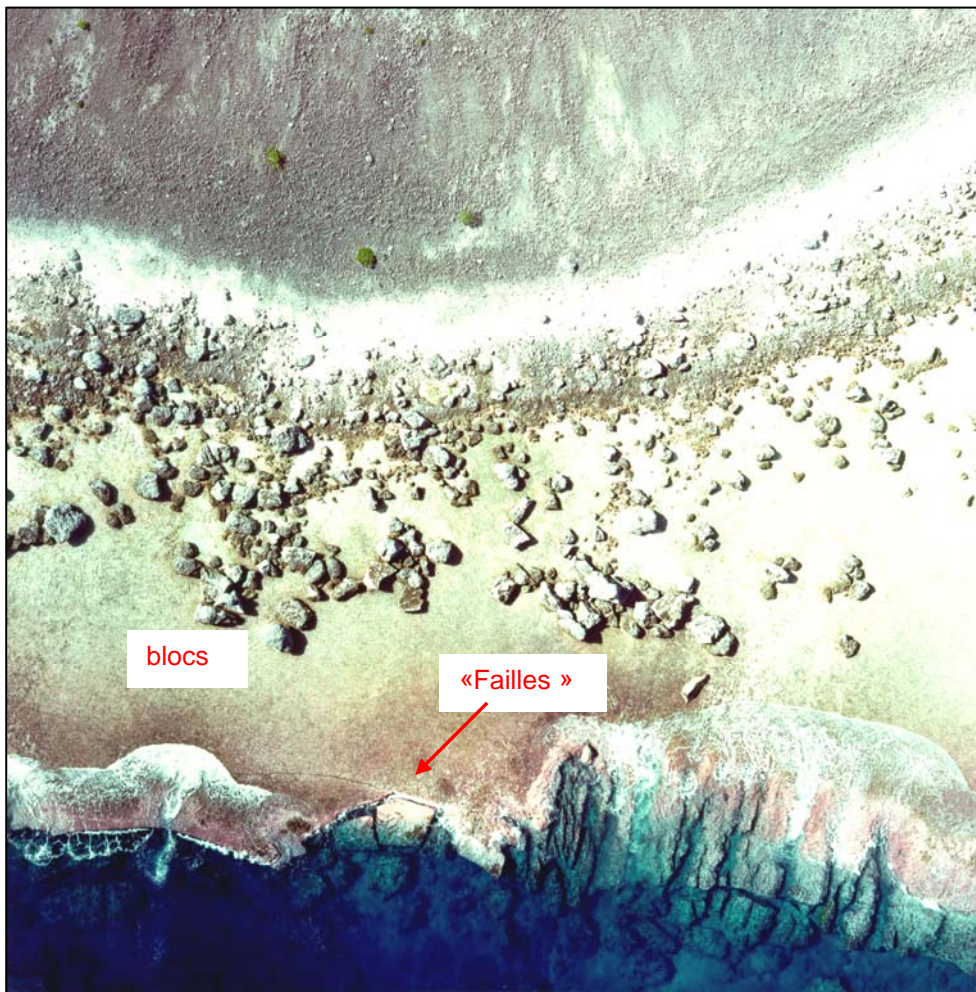


Figure 23 : Vue de Rangiroa. Photographie aérienne du platier en zone nord-ouest prise en 1981

Bilan de sismicité de janvier 2003 à fin 2009

Quelques séismes localisés en bordure du plateau des Tuamotu et de magnitudes comprises entre 1 et 3.1 ont été détectés par le RSP (Réseau Sismique Polynésien) sur la période 2003-2006, le séisme le plus proche est situé à plus de 45 km de la station de PMO.

En 2005, un signal détecté uniquement sur la station PMO (le 1/07/2005), d'une durée de 13 minutes, et interprété tout d'abord comme une onde T a été révisé : il s'apparente à un petit éboulement ou à des chutes de blocs détachés des flancs de l'atoll, événement de nature telle qu'on peut en observer à Mururoa (comme celui du 19/03/2006). Dans le cas de Rangiroa, il s'agit du premier événement local détecté depuis la création des 4 stations installées en 1967. Son amplitude est cependant très faible (0,16 $\mu\text{m/s}$ crête à crête). Il n'est détecté que par une seule station et il n'est pas possible de le localiser.

Fait très exceptionnel, une vingtaine de microséismes ont été détectés sur la station de PMOR entre le 1^{er} août et le 25 septembre 2007 (Figure 24), ceci n'était jamais arrivé depuis l'existence de la nouvelle station de PMOR (réf. [38]). Visibles sur une seule station (PMOR) ces événements sont très difficilement localisables. Ils sont situés tout au plus à 1 kilomètre de la station de PMOR.

La séquence a démarré par une douzaine d'événements entre le 1^{er} et le 3 août, suivie de quelques relâchements de contrainte (RC) isolés les 4, 12, 17 août, et puis les 7 et 14 septembre. La séquence s'est terminée par une « rafale » finale d'une dizaine de RC en deux séquences le 25 septembre (Figure 24). Tous ces relâchements de contrainte ont des formes d'onde très similaires, et proviennent donc d'une source commune et ponctuelle. Les plus forts de ces événements ont eu lieu le 2 août et le 25 septembre 2007, mais il est à noter que les amplitudes sont très faibles (souvent inférieure à 1 nm, la plus forte fait 20 nm).

Les relâchements de contrainte finaux en petites rafales (Figure 24) s'étalent sur 2 minutes entre 13h42 et 13h44 TU (soit 03h42 en heure locale). Les ondes Pg sont difficilement observables, car de faibles amplitudes, et donc seules les ondes Sg sont nettement visibles. Le filtrage optimal pour une meilleure visualisation se situe dans la bande [3- 12 Hz].

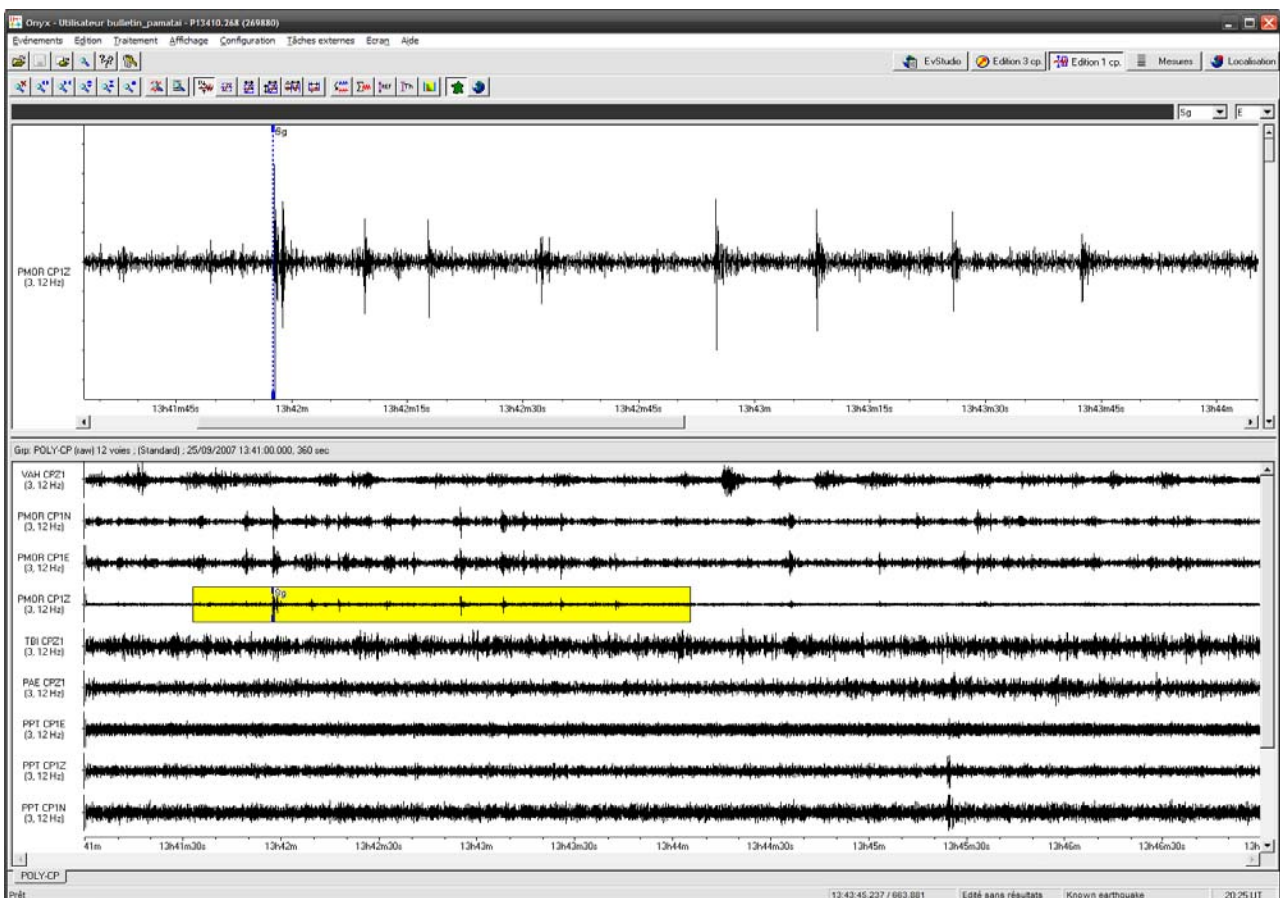


Figure 24: Première séquence de la rafale composée de 8 petits événements du 25/09/2007 vers 13h41: Les amplitudes des ondes Sg ne dépassent pas 4 nanomètres ; les ondes Pg sont à peine visibles. La durée individuelle d'un microséisme est d'environ 3.5 s. (réf.[38]).

Autre fait exceptionnel, si aucune activité sismique n'est détectée en 2008, un événement sismique local de type relâchement de contrainte est détecté sur la station PMOR le 21 mars 2009 (Il est localisé à environ 1 à 2 km dans une direction nord-est ou sud-ouest de la station). Cet événement, d'amplitude d'environ 10 $\mu\text{m/s}$, montre que des événements sismiques semblables à ceux observés à Mururoa sont susceptibles de se produire sur d'autres atolls.

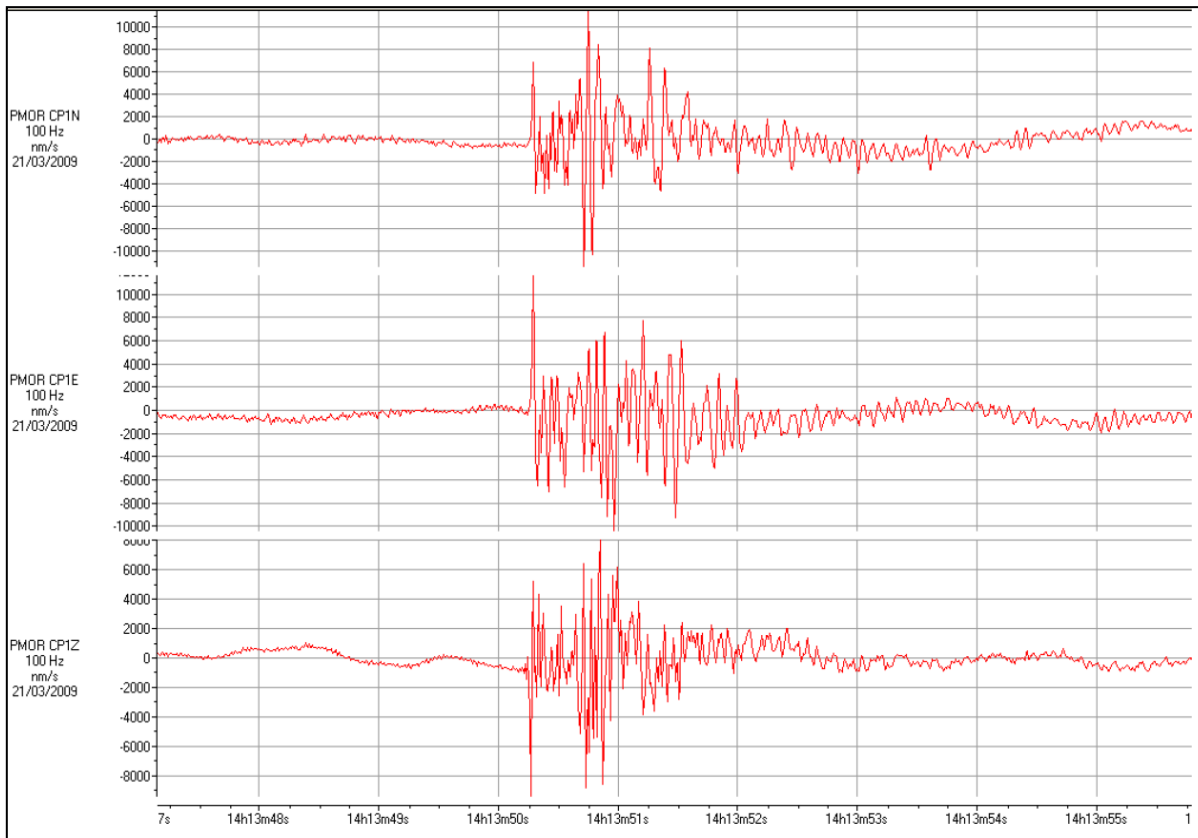


Figure 25 : Signaux de l'événement sismique détecté le 21 mars 2009 à Rangiroa par la station PMOR.

CONCLUSION POUR L'ATOLL DE REFERENCE

Depuis la création de la station, en 2002, un éboulement probable, détecté en juillet 2005, ainsi qu'une séquence de quelques petits relâchements de contrainte en août 2007, ont été détectés par la station PMOR. Un événement d'amplitude plus importante est toutefois détecté en 2009 et confirme que des événements microsismiques peuvent se produire sur d'autres atolls que les anciens sites d'expérimentation. Des événements de ce type sont les premiers observés. Ces faits restent très exceptionnels, et bien que les amplitudes de ces événements soient faibles ou extrêmement faibles, il apparaît intéressant de poursuivre l'exploitation de la station avec un maintien du pas d'acquisition à 100 Hz.

La surveillance de l'atoll de Rangiroa étant mentionnée dans le guide de surveillance géomécanique, comme l'une des mesures à mettre en œuvre pour le suivi des atolls, la commission C3S a donné en 2007 un avis favorable pour le maintien de la station.

5 - Liste des figures

- Figure 1 : Carte de l'atoll de Mururoa avec les zones surveillées et les points instrumentés..... 9
- Figure 2 : Schéma général du fonctionnement du système de surveillance automatique TELSITE. 9
- Figure 3 : Détail de l'implantation de l'instrumentation de la zone nord-est de Mururoa. Les traits gris terminés d'un cercle côté océan représentent la position des digues..... 10
- Figure 4 : Coupe représentant les principaux types de mesures réalisées en zone nord-est à Mururoa par le système TELSITE. Les déplacements en surface sont mesurés par les stations GPS. Les mesures de l'activité sismique sont effectuées par 4 géophones en profondeur et 2 stations sismiques en surface. Les mesures de déformation des flancs en profondeur sont effectuées par les câbles implantés en Forages Inclinaux Latéraux (FIL) et par la chaîne inclinométrique. Les courbes en pointillés figurent des limites hypothétiques (de principe) des zones en mouvement. 11
- Figure 5 : Répartition de l'activité sismique en zone nord-est par zone et par année (barres) et nombre d'événements par semaine (courbe bleue). 13
- Figure 6 : Répartition temporelle des magnitudes locales ML déterminées à partir des amplitudes automatiques des relâchements de contrainte détectés. Chaque zone géographique est identifiée par un symbole de couleur. Les événements attribués à la zone Gisèle sont répartis dans les catégories Française ou Camélia..... 13
- Figure 7 : Courbes du nombre d'événements cumulés par zones en zone nord-est. 14
- Figure 8 : Distribution du nombre de relâchements de contrainte (en pourcentage) détectés en zone nord par le réseau TELSITE sur la période 1997- 2009, en fonction de leur magnitude locale ML... 15
- Figure 9 : Courbes cumulatives des énergies (courbes colorées) et magnitudes locales ML pour l'ensemble des événements en zone nord-est (triangles), pour chacune des principales zones en mouvement (relation 1). Les magnitudes ML sont déduites des amplitudes automatiques de la base de données. Parmi les neuf événements de magnitudes supérieures ou égales à 1,5 (étiquetés), seul celui du 11/10/2007 se produit en zone Camélia. Les autres événements se produisent en zone Française..... 17
- Figure 10 : Historique de la répartition spatiale de la microsismicité en zone nord-est (cercles colorés par périodes et par année à partir de 2005). Les étoiles numérotées représentent les localisations des événements ayant déclenché l'alerte TELSITE depuis 2006. 19
- Figure 11 : Représentation en coupe de la position des événements relocalisés de 2000 à novembre 2009 (cercles colorés par année), au droit des zones Irène (PK5) (Fig 11a), Camélia (PK8) (Fig 11 b) et Française (PK10) (Fig11 c), compris dans une bande large de 750 m de part et d'autre du profil qui recoupe chaque station sismique. Les triangles noirs représentent la position des géophones du système TELSITE dans chacune des zones. Les événements numérotés

représentés par des étoiles correspondent à ceux ayant déclenché les alertes de fin 2006 et 2009 pour la zone Française, et début 2007 pour la zone Camélia. 22

Figure 12 : Diagramme du moment sismique (en dyne.cm) en fonction du rayon de source (en km) pour les séismes de Mammoth lakes (California) (cercles pleins). Les autres symboles représentent d'autres sites d'études (Archulera et al., 1982). 25

Figure 13 : Diagramme des moments sismiques (M_0) en fonction des rayons de source dans le cas du site de Lacq (Feignier et Grasso, 1991). 25

Figure 14: Evolution du déplacement relatif à la station Jeanne dans la direction nord, mesuré par la station GPS1 implantée en surface et en bout de digue au centre de la zone Camélia, de juin 1990 à février 2010. 26

Figure 15 : Déplacements mesurés de 1997 à janvier 2010 par les câbles implantés dans les forages inclinés dans les zones Française, proche du PK10 (courbes rouges FIL à 45° et 40°), Irène, proche du PK5 (courbes bleues : FIL à 45° à 30°) et Camélia, proche du PK8 (courbes vertes : FIL à 40° et 30°). 29

Figure 16 : Evolution du capteur inclinométrique du forage GEO8B (n° 29) en zone Camélia implanté dans les dolomies à 350 m de profondeur. 31

Figure 17: Evolution du capteur inclinométrique du forage GEO8B (n°26) en zone Camélia implanté à la base des calcaires crayeux à 376 m de profondeur. 31

Figure 18 : Carte des événements microsismiques localisés de 1990 à 2009 en zone Simone (localisation exhaustive sur la période 12/2005–11/2008). 32

Figure 19 : Exemples de signaux de relâchements de contrainte observés par la station Simone située en zone sud-est de Mururoa, le 19 août 2009. 33

Figure 20 : Vecteurs déplacements planimétriques des piliers topographiques et des piliers jalons 2001-2007 (flèches bleues) après recalage de la polygonale principale. Les courbes en pointillés roses et violets indiquent les limites de découpage de zones en mouvement (réf. [28]). 35

Figure 21 : Mécanisme de déformation des zones en mouvement Française (a), Camélia (b), Irène (c).. 37

Figure 22 : Image SPOT de Rangiroa avec la position des sites et des stations existantes. Au nord-ouest est visible une portion de l'atoll de Tikehau. 46

Figure 23 : Vue de Rangiroa. Photographie aérienne du platier en zone nord-ouest prise en 1981. 47

Figure 24: Première séquence de la rafale composée de 8 petits événements du 25/09/2007 vers 13h41: Les amplitudes des ondes Sg ne dépassent pas 4 nanomètres ; les ondes Pg sont à peine visibles. La durée individuelle d'un microséisme est d'environ 3.5 s. (réf.[38]). 48

Figure 25 : Signaux de l'événement sismique détecté le 21 mars 2009 à Rangiroa par la station PMOR. 49

6 - Références

Rapports et ouvrages

- [1] DIRCEN-CEA, Document n° 12, Guide de Surveillance Géomécanique des Atolls de Mururoa et de Fangataufa, in *Geomechanical and Radiological Impact of Nuclear Tests at Mururoa and Fangataufa*, Paris, La Documentation Française, 1998.
- [2] DIRCEN-CEA, Document n° 6, Overall Distribution and Characteristics of the Underground Nuclear Tests Carried Out at Mururoa and Fangataufa and Their Effects on the Surrounding Media, in *Geomechanical and Radiological Impact of Nuclear Tests at Mururoa and Fangataufa*, Paris, La Documentation Française, 1998.
- [3] DIRCEN-CEA, Document n° 7, Structural Integrity and Stability of the Atolls ; Data and Modelling, in *Geomechanical and Radiological Impact of Nuclear Tests at Mururoa an Fangataufa*, Paris, La Documentation Française, 1998.
- [4] Cahier des Charges relatif au soutien apporté par le Centre d'Expérimentation du Pacifique aux opérations de surveillance géomécanique et radiologique sur les sites de Mururoa et Fangataufa - Rapport DGA/DSP/SPNuc/SDAN/SCEN/DIR n°367 du 25 Octobre 1999.
- [5] Guide de Surveillance Géomécanique des atolls de Mururoa et Fangataufa, édition d'avril 2001 (Guide et Annexes A à C), note n° 386 du 12/6/01, et mise à jour de l'annexe B en Février 2002.
- [6] Surveillance de l'évolution géomécanique de Mururoa et Fangataufa, Tome II, Evolution géologique, bilan Annuel 2002, note n° 1225 du 05/12/2003, ENV.SURGE.R.BB.DET.CE.03.12.01.A.
- [7] Refonte partielle du système TELSITE 2003-2005, cahier des charges étape 3a, note n° 102 du 21/04/05, ENV SURGE RBR CDC CP 050115 A.
- [8] Refonte Partielle du système TELSITE 2003-2005, Analyse fonctionnelle du système TELSITE existant, note n° 13 du 13/05/04, ENV SURGE RBD DAF CP 04 07 30B.
- [9] Inspection du Centre d'expérimentation du Pacifique, DSND DR 199 du 10/06/04 diffusé le 17/06/04.
- [10] TELSITE : Rapport de mission de remplacement des transmissions locales et de maintenance préventive, Note n° 110 du 05/07/04.
- [11] Refonte Partielle du système TELSITE 2003-2005, expression du besoin- Indice B, note n° 25 du 06/08/2004, ENV SURGE RBD DAP CP 04 07 30B.
- [12] Compte-rendu de revue de projet du 05 juillet 2004, note n° 403 du 11/08/04, ENV SUR STT CRR CP040705A.
- [13] Demande de mission d'inspection et de prospection des infrastructures sur site, note n° 447 du 07/09/04.

- [14] Surveillance de l'évolution géomécanique de Mururoa. Evolution géologique des Atolls de Mururoa et de Rangiroa, Bilan 2003, note n° 529 du 20/10/04, ENV.SURGE.R.BB.DET.CP.04.10.20.A.
- [15] Refonte partielle du système TELSITE 2003-2005, Dossier de définition -Refonte Etape 3b (GPS), note n° 232 du 17/11/04, ENV SURGE RBD DDD CP 01 11 04 A.
- [16] Refonte partielle du système TELSITE 2003-2005, Dossier de justification de la définition GPS – Etape 3b, note n° 30 du 17/11/04, ENV SURGE RBD DJD CP 04 11 04A.
- [17] Compte-rendu de mission d'inspection des infrastructures sur site, note n° 585 du 26/11/04, ENV.SURGE.RBB.CRM.04.12.23.A.
- [18] Outil lochypo de localisation des données TELSITE, validation et tests, note n° 1 du 3/01/05, ENV.SURGE.R.BB.DET.CP.05.01.03A.
- [19] Cahier de recette des capteurs Telemac, type d'appareil fissuromètre n°141, du 21/03/90.
- [20] Refonte partielle du système TELSITE 2003-2005, Analyse fonctionnelle du système existant, note n° 102, ENV SURGE RBR CDC CP 05 01 15 A, 21/04/05.
- [21] Réponses à la note DGA/PDNUM/SDAN/SCEN/DIR DO 256, « Mururoa et Fangataufa Bilan de la surveillance géomécanique » 2003 du 12 avril 2005, note n° 317 du 17/06/05.
- [22] Evolution géomécanique des atolls de Mururoa et Rangiroa- Bilan 2004, note n° 364 du 05/07/05, ENV.SDURGE.R.BB.DET.CP.05.07.06.A.
- [23] TELSITE, Compte-rendu de mission d'installation des nouvelles infrastructures du 12 au 27 juillet 2005, note n° 248 du 7/10/05.
- [24] Analyse de photos aériennes des sites d'expérimentation (mission 2004), note n° 655 du 23/11/05, ENV.SURGE.R.BB.DET.CP.05.11.29.A.
- [25] Refonte partielle du système TELSITE 2003-2005. Dossier de définition de l'architecture générale du système - Refonte étape 3(a-b). note n° 29 du 02/02/06, ENV SURGE RBD DDD CP 060116 A.
- [26] Campagne topographique sur les atolls de Mururoa et Fangataufa, cahier des charges, note n° 180 du 17/03/06, ENV.SURGE.R.BB.DET.CP.060331.A.
- [27] Refonte partielle du système TELSITE 2003-2005, Compte-rendu détaillé d'installation et de validation, note n° 74 du 13/04/06, ENV SURGE RBD DAF CP 060412 A.
- [28] Etude de l'évolution géomécanique de Mururoa, note de synthèse, note n° 13 du 17/03/06.
- [29] Evolution géomécanique de l'atoll de Mururoa et Rangiroa, Bilan 2005, M. Flouzat, JP. Santoire, D. Reymond, note n°302 du 19/05/2006.
- [30] Compte-rendu de mission TELSITE du 9 au 21 mai 2006, note n° 12 du 16/06/2006.
- [31] Apport de la télédétection pour la surveillance géomécanique de l'atoll de Mururoa, note n° 42 du 29/11/2006.

- [32] Note d'information sur l'événement du 27 novembre 2006 ayant déclenché l'alerte TELSITE. Note n° 674 du 06/12/06.
- [33] Note d'information sur l'événement du 29 novembre 2006 ayant déclenché l'alerte TELSITE. Note n° 687 du 12/12/06.
- [34] Note d'information sur l'événement du 02 décembre 2006 ayant déclenché l'alerte TELSITE. Note n° 697 du 15/12/06.
- [35] Demande de travaux à Mururoa. Note n° 248 du 22/12/2006.
- [36] Note d'information sur l'événement du 12 janvier 2007 ayant déclenché l'alerte TELSITE. Note n°46 du 19/01/07.
- [37] Modélisation des effets hydrauliques de glissements sous-marins à Mururoa, Calage des paramètres de la source, note n° 424 du 05/07/07
- [38] Activité sismique exceptionnelle de l'atoll de Rangiroa du 1^{er} août au 25 septembre 2007, note du 15/10/2007.
- [39] Note d'information sur l'événement du 11/10/2007 ayant déclenché l'alerte TELSITE, note n° 603 du 19/10/07.
- [40] Etude des effets hydrauliques liés à des glissements de terrain à Mururoa, note n°50 du 23/06/2008.
- [41] Campagne topographique sur les atolls de Mururoa et Fangataufa, Auscultation géodésique, rapport de fin d'intervention, rapport SETIS, RFI T.TA.02 C, 25/03/2008.
- [42] Evolution géomécanique de l'atoll de Mururoa et Rangiroa, Bilan 2006, note n° 259 du 18/04/2007.
- [43] Evolution géomécanique de l'atoll de Mururoa et Rangiroa, Bilan 2007, note n° 348 du 9/05/2008.
- [44] Campagne topographique 2007 sur les atolls de Mururoa et Fangataufa, analyse des résultats, note n° 550 du 01/08/08.
- [45] Guide de surveillance géomécanique des atolls de Mururoa et Fangataufa, Note n° 734/2008 du 18/11/2008 (Guide) ; et Annexe A à C, note n° 239 du 3/12/08.
- [46] Compte rendu de mission TELSITE, note n° 250 du 19/12/08.
- [47] Pré étude de cartographie et de mesures des failles du CEP par imagerie très haute résolution, note n° 01/2009 du 5 janvier 2009.
- [48] Note de justification pour un projet de cartographie pour le suivi de la fracturation sous-marine, note n° 93 du 12/02/09.
- [49] Evolution géomécanique de l'atoll de Mururoa et de Fangataufa, Tome II, Bilan 2008, note n° 342 du 1 juin 2010.

- [50] Campagne photographique sur les atolls de Mururoa et Fangataufa, cahier des clauses techniques particulières, note n° 285 du 19/05/2009.
- [51] Système Telsite- Réflexion sur le remplacement de capteurs défectueux en profondeur. Note n° 440/2009 du 5 octobre 2009.
- [52] Apport de l'imagerie radar pour le suivi des déformations de l'atoll de Mururoa : Etude de faisabilité, note n° 559 du 18/12/2009.
- [53] Telsite : Installation de géophones en surface. Proposition technique et financière, note n° 3 du 21/01/2010.
- [54] Etude des effets hydrauliques liés à des glissements de terrain à Mururoa, note d'avancement, note n° 34/2010..

Bibliographie

- Archuleta R.J., Cranswick R., Muller C., and Spudich P., Source parameters of the 1980 Mammoth Lakes, California, earthquake sequence, *J. Geophys. Res.*, 87, 4595-4607, 1982.
- Brune J., Tectonic Stress and the Spectra of Seismic Shear Waves from Earthquakes, *J. Geophys. Res* VOL. 75, NO. 26, 1970.
- Feignier B., Grasso J.R., Relation between Seismic Source Parameters and Mechanical Properties of Rocks : A Case Study, *PAGEOPH*, Vol. 37, No. 3, 1991.
- Gutenberg B. and C.F. Richter, Earthquake magnitude, intensity, energy and acceleration, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 46, 105-145, 1956.
- Madariaga R., Dynamics of an expanding circular fault. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 65, 163-182, 1976.
- Thatcher. W., Hanks, T.C., Source Parameters of Southern California Earthquakes, VOL. 78, NO. 35, *J. Geophys. Res.* Dec.10, 1973.

