

3.2.5. MAREGRAPHIE

1. Développement des réseaux de marégraphes français

1.1. Extension du réseau RONIM

Quatre nouveaux marégraphes complètent le réseau RONIM (SHOM) en 2007 : Saint-Nazaire (en janvier), La Réunion (en octobre), Sète et Port Vendres (en novembre). Le nombre de stations est ainsi porté à trente. Cinq se trouvent en dehors de la métropole, à savoir : Nouméa, Fort-de-France, Pointe-à-Pitre, Ile Royale (Guyanne) et La Réunion. Ce dernier répond à l'engagement pris par la communauté scientifique française dans les années 1980 auprès du programme mondial GLOSS (Wöppelmann et al. 2007a). Il s'agit de la station GLOSS n° 17.

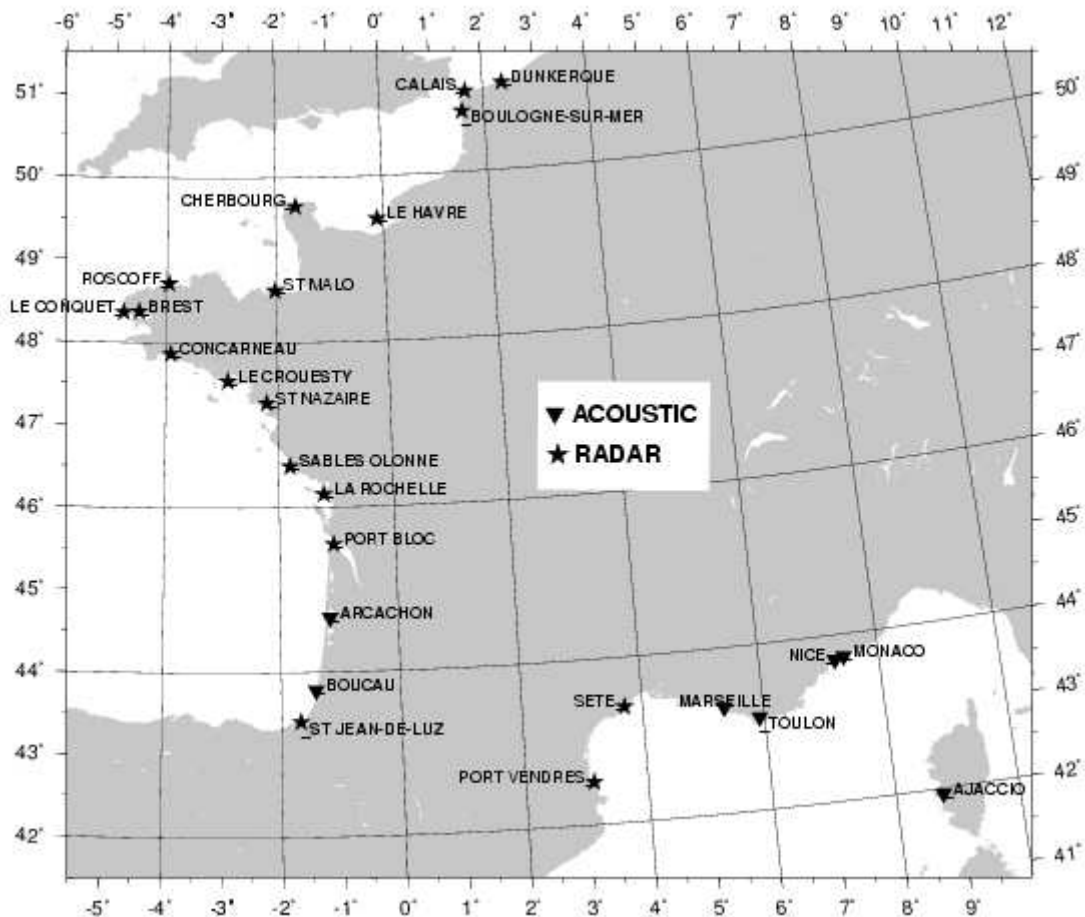


Fig 1 : Marégraphes du réseau RONIM au 11 mars 2008. (Les marégraphes radar de Nouméa, Fort-de-France, Pointe-à-Pitre, Ile Royale (Guyanne) et La Réunion ne figurent pas ici).

1.2. Evolution des technologies (réseaux RONIM et ROSAME)

La Figure 1 souligne le type de capteur opérationnel, acoustique ou radar. Les marégraphes radar remplacent progressivement les technologies mécaniques et acoustiques. Ils offrent des atouts opérationnels intéressants, *a priori* en accord avec les spécifications météorologiques du programme mondial GLOSS. Seuls trois sites rassemblent toutefois deux technologies en

parallèle permettant de mener à bien des études comparatives : Brest (acoustique et radar), Kerguelen (pression et radar) et Marseille (mécanique et acoustique). Dans ces conditions, des étalonnages réguliers à la sonde à ruban et à l'échelle de marée s'avèrent précieux. Il convient aussi de mentionner les expériences de mesures à la bouée GPS réalisées en 2007 à Kerguelen (Loyer et Guillot, 2008) et à Dumont d'Urville (Testut et Calzas, 2008). Les traitements GPS sont en cours en mode cinématique, mais les premiers résultats de comparaison avec les marégraphes semblent encourageants.

1.3. Caractérisation des erreurs dans les mesures des marégraphes

Les premières études réalisées dans le cadre de l'action 'NMER' du GRGS montrent que les performances remarquables des marégraphes radar sont atteintes à condition que l'installation soit appropriée (Martin Miguez et al. 2007). Les expériences réalisées en laboratoire ne rendent pas compte des conditions de mesure et des réalités du terrain, très variables d'un site à l'autre. Or, l'installation du marégraphe et l'environnement dans lequel il va se trouver 'in fine' peuvent influencer 'notablement' les caractéristiques déterminées en laboratoire, 'notamment' lorsqu'on s'intéresse à des phénomènes aussi ténus (1-2 mm/an) que la calibration ou la dérive des altimètres radar embarqués sur satellite, ou encore les variations climatiques du niveau marin. Les résultats méthodologiques obtenus par Martin Miguez et al. (2007) montrent l'intérêt des opérations régulières d'étalonnage sur le terrain. Ils ont été étendus à d'autres technologies de marégraphie opérant dans des environnements très différents. Ils indiquent que le test de Van de Casteele, mis au point dans les années 1960 pour les marégraphes mécaniques, et relégué aux oubliettes avec les nouvelles technologies de marégraphie, se révèle une méthode efficace pour détecter les principaux défauts des installations et apprécier la qualité des observations (Martin Miguez et al, in press).

2. Rattachements géodésiques des marégraphes

2.1. Hypothèses et mesures

Les rattachements géodésiques des marégraphes sont un aspect essentiel dans la construction des séries temporelles du niveau de la mer. Ils constituent le deuxième volet métrologique important de la proposition 'NMER' du GRGS. Ces rattachements garantissent localement la continuité de la référence d'une série marégraphique ; ils permettent aussi de ramener cette série dans une référence géocentrique, si l'un des repères est observé par géodésie spatiale. Force est cependant de constater que, si bien le nombre de stations GPS permanentes progresse en co-localisation avec les marégraphes (Wöppelmann et al. 2007b), le rattachement géodésique entre appareils n'est pas effectué ou disponible. L'exploitation scientifique de la co-localisation s'en trouve ainsi limitée, aussi bien dans l'application de calibration des altimètres radar (Lefèvre et al. 2007) que dans la correction des mouvements verticaux dans les séries temporelles longues de marégraphie (Wöppelmann et al. 2007c) et la comparaison des tendances du niveau de la mer avec l'altimétrie radar (Marcos et al. 2007). L'hypothèse que le mouvement vertical du sol sous le marégraphe est identique à celui de l'antenne GPS devient souvent nécessaire, alors qu'il serait a priori simple de s'en affranchir. L'effort pour combler cette lacune s'est poursuivi en 2007 sur les sites français, en particulier lors d'étalonnages de marégraphes ou d'installation de nouveau matériel (Fagard 2007a, 2007b, 2007c, Poyard 2007, Tiphaneau et al. 2007a, 2007b).

2.2. Bruit dans les séries de positions GPS et incertitudes sur les vitesses

Tous les résultats publiés à ce jour sur l'analyse des séries temporelles de positions GPS concluent à la présence d'un bruit corrélé dans le temps, dont la signature dans le domaine spectral serait bien représenté par une loi en $1/f$ (bruit de scintillation), ou bien une

combinaison de bruit blanc et de bruit de scintillation dans les basses fréquences. Un effet important de la corrélation temporelle dans les séries de positions GPS est l'estimation trop optimiste, d'un facteur 5 à 13, des incertitudes formelles obtenues sur les paramètres estimés dans un processus qui suppose implicitement des résidus distribués suivant un bruit blanc, en particulier sur la vitesse (pente) d'une série temporelle. Les travaux menés par le centre d'analyse GPS français du projet TIGA de l'IGS sont cependant un peu plus encourageants, avec un niveau de bruit et des indices spectraux plus bas, de l'ordre de 0.3 à 0.6, conduisant en moyenne à un facteur quatre fois trop optimiste dans l'estimation des incertitudes sur les vitesses verticales GPS (Letetrel et al. 2007).

3. Perspectives

Considérant les résultats obtenus sur la caractérisation du bruit dans les séries temporelles de positions GPS et la diminution des coûts d'acquisition de matériel GPS de type géodésique, la demande de soutien GRGS pour 2008 propose l'achat et l'installation de quatre stations GPS permanentes sur des marégraphes du programme GLOSS, ou des marégraphes d'intérêt particulier pour la communauté scientifique française (calibration des altimètres radar, séries temporelles historiques de marégraphie). Les campagnes de mesures GPS limitées dans le temps (quelques jours à semaines) ne se justifient guère plus sur des arguments économiques ou techniques. L'observation GPS en mode continu s'affranchit des erreurs liées à la réinstallation de matériel et à la mesure des hauteurs d'antenne. De plus, l'expérience acquise et les modèles de bruit GPS indiquent une durée d'observation de l'ordre de 10 ans pour atteindre des incertitudes de quelques 0.2-0.3 mm/an sur les vitesses verticales GPS dans l'état des connaissances actuelles (Letetrel et al. 2007). Si bien il est prévu de mettre l'accent sur l'installation et la mise en œuvre des stations GPS en 2008, il est important de poursuivre les travaux engagés sur la caractérisation des erreurs de nature systématique des marégraphes, par la comparaison avec des mesures ponctuelles d'étalonnages sur un cycle de marée, mais aussi sur les sites comprenant deux technologies fonctionnant en parallèle depuis plusieurs années (Brest, Kerguelen, et Marseille). Deux questions méritent une attention toute particulière. La première se rapporte à la qualité des observations des quelques quinze ans de mesures acoustiques effectuées en France. La seconde concerne la compréhension des phénomènes physiques à l'origine des erreurs qui sont décelées par les tests de van de Casteele, aussi bien sur les marégraphes acoustiques que sur les marégraphes radar. Les expériences d'étalonnage sont toutefois peu nombreuses encore, il convient de les poursuivre pour accumuler du matériel qui permettra la caractérisation des erreurs, leur surveillance dans le temps, et la recherche des causes physiques.

4. Participants au projet

Guy WOPPELMANN, Coordinateur rédaction du chapitre (Université La Rochelle)
Lucia PINEAU-GUILLOU, Responsable expérience GRGS 'NMER' (SHOM)
Ronan CREACH, Ingénieur (GRGS/SHOM)
Marie-Noëlle BOUIN, Responsable expérience GRGS 'TIGA' (IGN)
Hervé FAGARD, Ingénieur (IGN)
Laurent TESTUT, Physicien adjoint (LEGOS)
Philippe TECHINE, Ingénieur (LEGOS)
Pascal TIPHANEAU, Technicien (Université La Rochelle)

5. Références bibliographiques

H. Fagard, 2007a, Rénovation de la station DORIS de Rothera (Antarctique), Rapport interne IGN/SGN CR/G Nr. 197.
H. Fagard, 2007b, Installation de la station DORIS de Santa Cruz (Galapagos, Equateur), Rapport interne IGN/SGN CR/G Nr. 198.

- H. Fagard, 2007c, Installation de la station DORIS de Betio (Tarawa, République de Kiribati), Rapport interne IGN/SGN CR/G Nr. 224.
- H. Fagard, J-C. Poyard, in press, Installation de la station DORIS de Rikitea (Polynésie Française), Rapport interne IGN/SGN CR/G Nr. 230.
- F. Lefèvre F., P. Schaeffer, G. Wöppelmann, 2007, Etude et fourniture de données nécessaires au calcul d'une surface moyenne océanique issue de l'altimétrie spatiale, Rapport final CLS-DOS-NT-07-018, Février 2007, 52 pp.
- C. Letetrel, G. Wöppelmann, M-N. Bouin, Z. Altamimi, M. Feissel-Vernier, A. Santamaria, 2007, ULR Re-analysed Global GPS Solution for Vertical Land Motion Correction at Tide Gauges, AGU San Francisco, 10-14 December 2007, Session G41A « Earth's Reference System and Rotation ».
- S. Loyer, A. Guillot, 2008, Mission NIVMER08 (Novembre 2007).
- C. Maraldi, B. Galton-Fenzi, F. Lyard, L. Testut, R. Coleman, 2007, Barotropic tides of the Southern Indian Ocean and the Amery Ice Shelf cavity. *Geophys. Res. Lett.*, 34, L18602, doi:10.1029/2007GL030900.
- M. Marcos, G. Wöppelmann, W. Bosch, R. Savcenko, 2007, Decadal sea level trends in the Bay of Biscay from tide gauges, GPS and TOPEX, *Journal of Marine Systems*, 68, 529-536, doi:10.1016/j.jmarsys.2007.02.006.
- B. Martin Miguez, M. Calzas, 2007, Mission NIVMER07 (Décembre 2006), Rapport, 48 pp.
- B. Martin Miguez, R. Le Roy, G. Wöppelmann, 2007, The use of radar gauges to measure variations in sea level along the French coast, *Journal of Coastal Research*, on-line June 2007, doi: 10.2112/06-0787.
- B. Martin Miguez, L. Testut, G. Wöppelmann, in press, The van de Casteele test revisited: an efficient approach to tide gauge error characterization, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technologies*, accepted December 2007.
- J-C. Poyard, 2007, Remplacement de l'antenne DORIS de Marion Island (Afrique du Sud), Rapport interne IGN/SGN CR/G Nr. 219.
- L. Testut, M. Calzas, 2008, Mission NIVMER08-DDU (Décembre 2007 - Janvier 2008). 29 pp.
- P. Tiphaneau, J-F. Breilh, G. Wöppelmann, 2007a, Contrôle des performances du marégraphe radar BM70 de Socoa (Saint Jean-de-Luz) - le 17 mai 2007. Rapport équipe niveau marin Nr. 002/07, 17pp.
- P. Tiphaneau, J-F. Breilh, G. Wöppelmann, 2007b, Contrôles 2005 et 2007 du marégraphe radar BM70 des Sables d'Olonne, Rapport équipe niveau marin Nr. 003/07, CLDG, 35pp.
- P. Tiphaneau, T. Gouriou, in press, Étalonnage du marégraphe radar Optiflex de Sète et installation d'une station GPS, Rapport équipe niveau marin Nr. 001/08, LIENSS/DPL.
- G. Wöppelmann, R. Créach, L. Testut, 2007a, National report of France, Report presented at the Xth GLOSS Group of Experts Meeting, Paris, UNESCO, 5-8 June 2007, 8pp.
- G. Wöppelmann, T. Aarup, T. Schoene, 2007b, An inventory of collocated and nearly collocated CGPS stations and tide gauges, Report presented at the Xth GLOSS Group of Experts Meeting, Paris, UNESCO, 5-8 June 2007.
- G. Wöppelmann, B. Martin Miguez, M-N. Bouin, Z. Altamimi, 2007c, Geocentric sea-level trend estimates from GPS analyses at relevant tide gauges world-wide, *Global and Planetary Change*, 57, 396-406, doi: 10.1016/j.gloplacha.2007.02.002.
- G. Wöppelmann, 2007e, Géodésie et niveau de la mer, Dossier d'Habilitation à Diriger des Recherches (HDR) présenté à l'université de la Rochelle le 16 novembre 2007, 193 pp.