

3.2.5. MAREGRAPHIE

1. Courte synthèse introductive

Les activités de recherche sont de plus en plus jugées à l'aune des publications de rang A et des communications dans les congrès internationaux. Nous en dénombrons six et dix respectivement, pour la seule année 2008, dans le cadre des actions menées par les participants soutenus par le GRGS (cf. détails sections 6 et 7). Leur nombre progresse notablement. L'investissement dans les activités d'observation en marégraphie (stations, systèmes et services d'observation) commence à porter ses fruits, d'autant qu'elles s'accompagnent de ressources dédiées pour exploiter les résultats de ces activités, en particulier de doctorants (cf. section 6). Les activités de recherche se jugent aussi par la participation dans les structures internationales, en particulier dans l'organisation de réunions. C'était le cas en 2008 : dans le Workshop de l'IGS qui s'est tenu à Miami (Wöppelmann et Schöne 2008), ou encore dans le grand congrès annuel de l'EGU, à Vienne, où la tenue d'un '*splinter meeting*' a conduit à l'organisation prochaine d'un workshop sur les co-localisations GPS / Marégraphes, à la COI/Unesco, du 11 au 12 mai 2009, en préambule à la réunion du groupe d'experts du programme mondial GLOSS (13-15 mai 2009). Enfin, la richesse d'un domaine de recherches peut aussi se juger au nombre de questions ouvertes et des perspectives. La thèse de doctorat de N. Pouvreau (2008) ouvre des perspectives très enthousiasmantes dans l'exploitation des mesures historiques du niveau de la mer. Elle montre qu'un patrimoine historique à fort potentiel scientifique reste à exploiter en France, alors que nos collègues anglais valorisent leur propre filon depuis plus de trente ans sans qu'il ne se soit encore tari dans la recherche d'une connaissance détaillée des variations du niveau de la mer le long des côtes.

2. Développement des réseaux de marégraphes français

Les marégraphes radar continuent de remplacer progressivement les technologies mécaniques, acoustiques, et à pression, dans les réseaux de marégraphes côtiers français ROSAME (LEGOS) et RONIM (SHOM). Des capteurs radar ont ainsi été installés à Saint-Paul (GLOSS n°24) en nov. 2008 ; à Arcachon en fév. 2008 ; à Nice et à Toulon en mai 2008 ; pour la nouvelle installation à Dieppe en mars 2009; et pour le nouveau marégraphe de Mayotte (Dzaoudzi), installé en déc. 2008 par le SHOM. Ce dernier répond ainsi à l'engagement pris par la communauté scientifique française dans les années 80 auprès du programme mondial GLOSS (station GLOSS n° 96). Les marégraphes radar offrent des atouts opérationnels intéressants, *a priori* en accord avec les spécifications métrologiques du programme GLOSS. Cependant, 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. 2008a). Les installations des marégraphes radar des Sables d'Olonne (mars 2008), de Cherbourg (avril 2008), et de La-Rochelle (octobre 2008), ont été revues.

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, 'notablement' 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. Dans ces conditions, des étalonnages réguliers à la sonde à ruban et à l'échelle de marée s'avèrent précieux. A titre d'illustration, depuis la fin de l'année 2003 des lectures mensuelles à l'échelle de marée sont effectuées à Kerguelen pour l'étalonnage « en continue » de la référence instrumentale du capteur de pression. Depuis quelques semaines le suivi des dérives instrumentales de ce marégraphe est accessible à chaque nouvel étalonnage sur le site web du réseau ROSAME

(<http://www.legos.obs-mip.fr/fr/soa/rosame/distribution/>). La figure ci-dessous illustre clairement l'intérêt de suivre ces dérives.

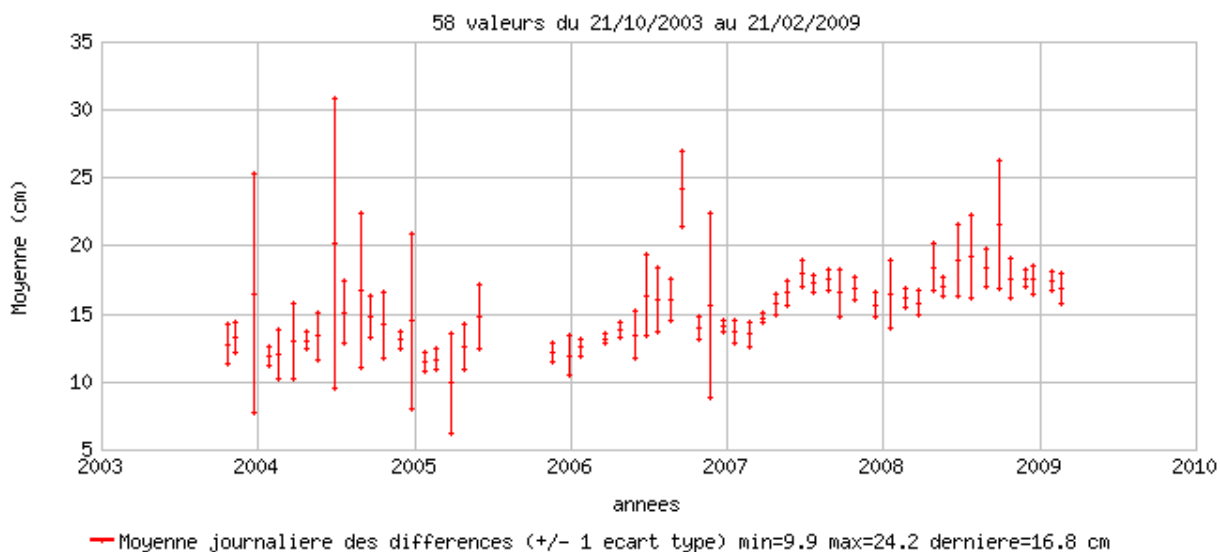


Fig 1 : Hauteur de la référence instrumentale du capteur de pression de la station marégraphique de Kerguelen (le capteur n'a pas été déplacé de son tube depuis 2003).

3.Caractérisation des erreurs dans les mesures des marégraphes

Les résultats méthodologiques obtenus par Martin Miguez et al. (2008b) montrent l'intérêt des opérations régulières d'étalonnage sur le terrain. Ils indiquent que le test de Van de Castele, 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, quelque soient ces technologies. Afin de poursuivre les résultats de cette recherche dans un contexte plus favorable, la demande de soutien 2008 pour 2009 au GRGS propose de mettre en place une station pilote dans laquelle les différentes technologies de marégraphie se retrouveront en co-localisation. L'idée n'est pas originale, mais à notre connaissance elle n'a jamais pu être menée à bien sur une période supérieure à l'année pour des raisons diverses d'ordre technique, politique et de soutien financier. Une telle station pilote oeuvrant pendant plusieurs années apporterait des éléments de réponse très instructifs dans l'étude des comportements 'in situ' des différentes technologies, à l'image des sites de géodésie spatiale en co-localisation. Le site de Brest se prête particulièrement bien à ce type d'expérience de par la proximité (Brest, SHOM), de par les dimensions de l'infrastructure de l'observatoire, et de par la sécurité qu'il garantit au matériel, sans mentionner la qualité exceptionnelle de sa série temporelle séculaire. Il convient aussi de mentionner les expériences de mesures à la bouée GPS réalisées 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 (Testut et Loyer, 2008).

4.Rattachements géodésiques des marégraphes

4.1. Continuité de la référence locale et approche GPS en mode continu

Les rattachements géodésiques des marégraphes sont un aspect essentiel dans la construction des séries temporelles du niveau de la mer. Ils garantissent localement la continuité de la référence d'une série marégraphique. C'est aspect est illustré dans Wöppelmann et al. (2008a) qui répond à Douglas (2001, 2008) sur la continuité de la référence de la série de Brest suite à la destruction de l'observatoire lors des bombardements de 1944. Par ailleurs, si l'un des repères est observé par géodésie spatiale, le rattachement permet d'exprimer la série de mesures dans une référence géocentrique, et donc de surveiller ces mouvements dans un tel repère. 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, les campagnes de mesures GPS limitées dans le temps (quelques jours à semaines) ne se justifient guère. Les crédits GRGS de 2008 ont permis l'achat de quatre stations GPS. Leur installation est prévue au printemps 2009. Les sites retenus, suite aux résultats des reconnaissances géodésiques et aux discussions entre le SHOM, le LEGOS et l'ULR, sont : Sète (altimétrie), Roscoff (altimétrie), Saint-Malo (long terme), et Fort-de-France (GLOSS n°204). La recette technique du matériel et les autorisations d'installation sont en cours (hiver 2009).

4.2. Analyse des mesures GPS et application des résultats aux marégraphes

Les activités du centre d'analyses ULR du projet TIGA de l'IGS se sont concentrées dans le portage des logiciels GAMIT et CATREF sur le cluster de 128 cœurs de calcul acquis à l'université de La Rochelle. Les tests effectués ont montré que dix ans d'observation GPS d'un réseau global de 220 stations pouvaient être recalculées en une semaine (contre un an auparavant), récompensant ainsi les mois de travail de l'équipe ULR en 2008, qui a reçu un soutien précieux du centre de ressources informatique de l'université. Des difficultés techniques restent néanmoins à résoudre, mais ces nouvelles capacités de calcul redonnent à l'ULR une place concurrente avec les autres centres d'analyses de l'IGS, aussi bien dans le cadre du projet TIGA que dans celui de la campagne '*reprocessing*' en cours (2009) des grands centres d'analyses de l'IGS. En effet, nos résultats ont été remarqués, en 2007 déjà mais aussi en 2008 (Santamaria et al. 2008 ; Letetrel et al. 2008 ; Woppelmann et al. 2008d).

5. Perspectives

L'ensemble des activités décrites ici ont des perspectives très enthousiasmantes qu'il n'est pas possible de développer dans ce court rapport. Mentionnons le système SONEL qui n'a justement pas trouvé de place, mais qui a fait l'objet de nombreux développements de fond, dont le nouveau serveur web (<http://www.sonel.org>) et ses multiples fonctionnalités de visualisation et d'accès aux données sont les témoins (base de données, meta-données, collectes, mises en forme, etc.). Le rôle de fédération de réseaux de stations devrait se renforcer avec l'extension des réseaux marégraphiques dans le Pacifique. Le développement de réseaux marégraphiques dans le cadre de la problématique tsunami est envisagé en Nouvelle-Calédonie et déjà initié en 2008 en Polynésie Française (Dupont 2008).

6. Participants au projet

Guy WOPPELMANN, Coordinateur rédaction du chapitre (Université La Rochelle)

Marie-Noëlle BOUIN, Responsable expérience GRGS 'TIGA' (IGN)

Lucia PINEAU-GUILLOU, Responsable expérience GRGS 'NMER' (SHOM)

Laurent TESTUT, Physicien adjoint (LEGOS)

Ronan CREACH, Ingénieur (SHOM)

Hervé FAGARD, Ingénieur (IGN)

Philippe TECHINE, Ingénieur (LEGOS)

Mikael GUICHARD, Ingénieur (Université La Rochelle)

Pascal TIPHANEAU, Technicien (Université La Rochelle)

Thomas GOURIOU, Doctorant à l'université de La Rochelle

Camille LETETREL, Doctorante à l'Université de la Rochelle

Nicolas POUVREAU, Post-doctorant au LEGOS

Alvaro SANTAMARIA, Doctorant au LAREG (IGN)

7. Références bibliographiques

E. Chaumillon, X. Bertin, H. Falchetto, J. Allard, N. Weber, P. Walker, N. Pouvreau, G. Wöppelmann, 2008, Multi-time scale evolution of a wide estuary linear sandbank, the Longe de Boyard, Atlantic coast of France, *Marine Geology*, 251, 209-223.

R. Créach, G. Goasguen, Réseau de mesure du niveau des mers RONIM et réseau de mesure de houle CANDHIS, 7^{ème} Journées scientifiques et techniques du CETMEF, Paris, 8, 9 et 10 décembre 2008.

- Y. Dupont, 2008, Integration de la station de surveillance du niveau de la mer à Tubuai (Les Australes), Compte-Rendu N° 134 SHOM/GOP/BHPF/NP, 23 décembre 2008, 23 pp.
- H. Fagard, J-C. Poyard, 2008, Installation de la station DORIS de Rikitea (Polynésie Française), Rapport interne IGN/SGN CR/G Nr. 230.
- T. Gouriou, N. Pouvreau, G. Wöppelmann, 2008, Mesures du niveau de la mer en France : un patrimoine historique à fort potentiel scientifique. L'exemple du littoral charentais, *Géologues*, 158, Spécial Littoral, pp. 83-88.
- C. Letetrel, G. Wöppelmann, G. Valladeau, F. Lefèvre, 2008, An improved absolute calibration of satellite altimeters using a globally distributed network of GPS-corrected tide gauges, *European Geosciences Union*, Vienna, Austria, 13-18 April 2008, EGU2008-A-10091.
- M. Llubes, N. Florsch, J-P. Boy, M. Amalvic, P. Bonnefond, M.N. Bouin, S. Durand, M.F. Esnault, P. Exertier, J. Hinderer, M.F. Lalancette, F. Masson, L. Morel, J. Nicolas, M. Vergnolle, G. Wöppelmann, 2008, Multi-technique monitoring of ocean tide loading in northern France, *C. R. Geoscience*, 340, 379-389.
- S. Loyer, A. Guillot, 2008, Mission NIVMER08, Rapport de mission, 74 pp.
- B. Martin Miguez, R. Le Roy, G. Wöppelmann, 2008a, The use of radar gauges to measure variations in sea level along the French coast, *Journal of Coastal Research*, 24, pp. 61-68.
- B. Martin Miguez, L. Testut, G. Wöppelmann, 2008b, The van de Casteele test revisited: an efficient approach to tide gauge error characterization, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technologies*, Vol. 25, Nr. 7, pp. 1238-1244.
- N. Pouvreau, 2008, Trois cents ans de mesures marégraphiques en France : outils, méthodes et tendances des composantes du niveau de la mer au port de Brest, Thèse de doctorat de l'université de la Rochelle, disponible au format PDF dans <http://www.sonel.org/>
- A. Santamaria, M-N. Bouin, G. Wöppelmann, 2008, New strategy for reprocessing a global GPS network at the ULR TIGA analysis centre. *European Geosciences Union*, Vienna, Austria, 13-18 April 2008, EGU2008-A-01852.
- L. Testut, M. Calzas, 2008, Mission NIVMER08-DDU (Décembre 2007 – Janvier 2008). 29 pp.
- L. Testut, R. Coleman, H. Brolsma, C. Watson, R. Handsworth, M. Calzas, 2008, Estimating long term sea level trends in East Antarctica, *Joint SCAR-IASC Open Science Conference*, 8-11 July 2008.
- L. Testut, R. Coleman, N. Pouvreau, C. Watson, G. Wöppelmann, J. Hunter, 2008, Historical sea level trends in the Southern Ocean from tide gauges, *William Smith Meeting : Observations and Causes of Sea-Level Changes on Millennial to Decadal Timescales*, 1-2 Sept. 2008, London.
- L. Testut, N. Pouvreau, G. Wöppelmann, F. Birol, M. Karpytchev, 2008, Long Term Trend Components in Sea Level from Tide Gauge and Satellite Altimetry Records, *Observing and Forecasting the Ocean*, 10-15 November 2008, Nice.
- L. Testut, S. Loyer, A. Maillard, 2008, Marégraphie par bouée GPS, Poster présenté au Colloque de l'Année Internationale de la Planète Terre « *L'eau dans tous ses Etats, visions spatiales* », 17-19 Novembre 2008, Paris.
- G. Wöppelmann and T. Schöne, 2008, Reprocessing GPS data at the observation level for tide gauge monitoring: Main "raison d'être" of TIGA, *IGS 2008 Analysis Center Workshop*, Miami Beach, Florida, USA, 2-6 June 2008.
- G. Wöppelmann, N. Pouvreau, A. Coulomb, B. Simon, P.L. Woodworth, 2008a, Tide gauge datum continuity at Brest since 1711: France's longest sea-level record, *Geophysical Research Letters*, 35, L22605, doi:10.1029/2008GL035783.
- G. Wöppelmann, B. Martin Miguez, R. Créach, 2008b, Tide gauge records at Dakar, Senegal (Africa): towards a consistent sea-level time series spanning more than 100 years?, *European Geosciences Union*, Vienna, Austria, 13-18 April 2008, EGU2008-A-10530.
- G. Wöppelmann, M-N. Bouin, Z. Altamimi, 2008c, Terrestrial reference frame implementation in global GPS analysis at TIGA ULR consortium, *Physics and Chemistry of the Earth*, 33, 217-224
- G. Wöppelmann, M-N. Bouin, Z. Altamimi, C. Letetrel, A. Santamaria, X. Collilieux, 2008d, Vertical velocities at tide gauges from a completely reprocessed global GPS network of stations: How well do they work? *IGS 2008 Analysis Center Workshop*, Miami Beach, Florida, USA, 2-6 June 2008.
- G. Wöppelmann G., M. Marcos, C. Letetrel, A. Coulomb, 2008e, Marseille tide gauge: review and rescue of its historical data (1885-1988), 3rd ESF MedCLIVAR Workshop on *Understanding the mechanism responsible for the changes in the Mediterranean Sea circulation and sea level trends*, Rhodes, Greece, 29 September – 1st October 2008.