

ROSAME : bientôt 20 ans d'observation in situ du niveau de la mer dans l'océan austral.

■ (15 minutes)

L. Testut¹, M. Calzas², A. Guillot², C. Guillerm², P. Téchiné¹, C. Drezen², L. Fichen²

¹ LEGOS, 14 av. E. Belin, 31401 Toulouse cedex 9, France. (laurent.testut@legos.obs-mip.fr)

² DT/INSU, Bât IPEV, Plouzané, 29280, France

Résumé

Cette présentation fera le bilan de bientôt 20 années de mesures in situ du niveau de la mer par le Service d'Observation ROSAME. Nous présenterons les principales évolutions techniques du réseau ainsi que les résultats scientifiques importants.

Introduction

A la fin des années 1980 s'est mis en place, à l'instigation de la COI² de l'UNESCO et dans le cadre du programme international WOCE³, un réseau coordonné et mondial d'observation *in situ* des variations du niveau de la mer : le réseau GLOSS⁴. C'est dans ce contexte international que le réseau **ROSAME**⁵ a été imaginé et implanté par Christian Le Provost au début des années 1990, comme sous ensemble du réseau mondial GLOSS, et dans la perspective des programmes altimétriques satellitaires franco-américain Topex/Poseidon, et européen ERS1/2. Ce réseau répond maintenant aussi aux objectifs scientifiques de CLIVAR⁶ et de GOOS⁷. ROSAME est labellisé comme service d'observation (SO) par le Conseil Scientifique de l'INSU (Océan Atmosphère) depuis 1998, et par le conseil scientifique de l'IPEV. Il a été labellisé Observatoire de Recherche en Environnement (ORE) par le Comité de Coordination des Sciences de la Planète et de l'Environnement lors de la campagne de labellisation 2002. Le réseau ROSAME est constitué de quatre sites de mesure du niveau de la mer à Kerguelen, Saint-Paul, Crozet et Dumont d'Urville (*cf.* Figure 2). Chacun des sites est au moins équipé d'un marégraphe à capteur de pression répondant aux recommandations de la COI, dans le cadre de GLOSS : précision instrumentale centimétrique, transmission temps réel des données, mesures horaires (<http://www.pol.ac.uk/psmsl/manuals/>).

Observations et résultats

Objectifs scientifiques

Le programme scientifique du SO ROSAME s'articule autour de trois thèmes principaux :

- 1) l'observation des variations séculaires du niveau de la mer,
- 2) l'étude de la dynamique de l'océan austral dans le secteur Indien et périanarctique,
- 3) une contribution à la validation et à l'exploitation des mesures altimétriques satellitaires.

Le thème 1) est un objectif à très long terme puisqu'il s'agit de suivre l'évolution séculaire du niveau de la mer en réponse au changement climatique (IPCC, 2007). Cependant c'est la qualité des observations présentes qui conditionnera la fiabilité des estimations futures. C'est pourquoi un effort constant est apporté à la qualité technique du réseau, à la veille technologique et au suivi géodésique. Le thème 2) est très large et regroupe l'étude de l'ensemble des processus dynamiques (quelque soit l'échelle de temps et d'espace) affectant le niveau de la mer. Le thème 3) a vocation à étudier les phénomènes visibles dans les données altimétriques (tendance, ondes internes, ...) et a effectué la comparaison entre la donnée altimétrique et la donnée marégraphe en terme relatif et absolue (détermination des biais des missions altimétriques).

² Commission Intergouvernementale d'Océanographie (<http://ioc-unesco.org/>)

³ World Ocean Circulation Experiment

⁴ Global Sea Level Observing System (<http://www.gloss-sealevel.org/>)

⁵ Réseau d'Observation Subantarctique et Antarctique du niveau de la MER

⁶ Climate Variability and Predictability (<http://www.clivar.org/>)

⁷ Global Ocean Observing System (<http://www.ioc-goos.org/>)

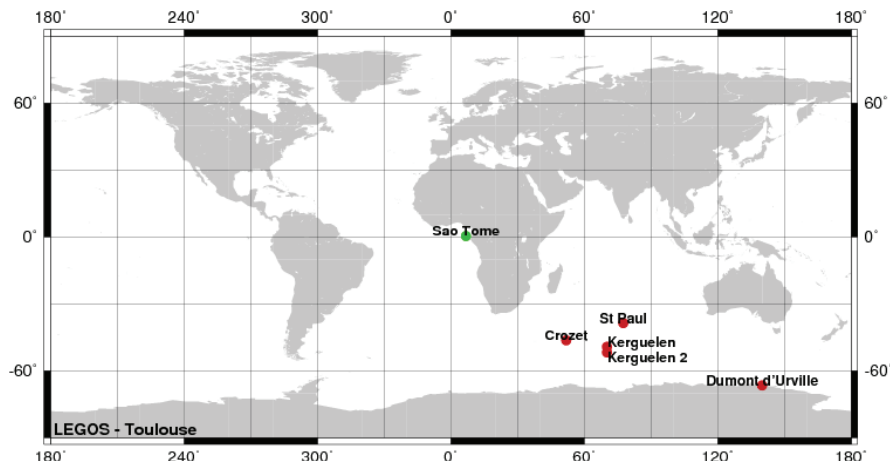


Figure 2 : emplacements des stations marégraphiques ROSAME (rouge)

Présentation du réseau

Le site de **Kerguelen** est le plus ancien du réseau et a la série temporelle la plus longue (depuis avril 1993, cf. Figure 3 :). Une seconde station marégraphique (**Kerguelen 2**) a été mise en place en mars 2006 dans le cadre du système d'alerte aux tsunamis dans l'océan indien (<http://www.ioc-tsunami.org/content/view/31/36/>). Cette station fait des acquisitions à 1 minute. Les deux marégraphes sont installés le long du quai de Port-aux-Français, la base scientifique française de Kerguelen. Depuis 2003, nous avons mis en place des lectures mensuelles à l'échelle de marée qui permettent le contrôle des dérives instrumentales des capteurs de pression de fond et du radar. Depuis 2008, les VATs effectuent des sessions de bouée GPS au dessus des marégraphes permettant ainsi de contrôler les dérives mais aussi de rattacher les observations à une référence mondiale géocentrique. Au cours des dernières années nous avons mené des campagnes de mesure pour retrouver des indications du niveau moyen de la mer datant de 1902 (Baie de l'Observatoire) et 1874 (Anse Betsy). En décembre 2006, nous avons décidé de reprendre les opérations de mouillage, abandonnées depuis plus de 10 ans à Kerguelen. Ces mouillages, situés sous une trace de l'altimètre JASON serviront à la validation des modèles ainsi qu'à la calibration altimétrique.

Le marégraphe de **St Paul** a été installé en octobre 1994 dans le cratère d'un ancien volcan partiellement immergé qui communique avec l'océan. En novembre 2007, l'installation a été complètement refaite pour accueillir une station de nouvelle génération du même type que celle de Kerguelen 2 et faisant des acquisitions toutes les 20 minutes. En novembre 2008, une session bouée GPS a été faite au-dessus du marégraphe pour son rattachement à une référence absolue. Depuis décembre 2006, des campagnes de nivellement, de GPS et d'étalonnage des références des capteurs sont effectuées sur le site de St Paul. Les opérations de mouillage au large d'Amsterdam ont été suspendues en 2007 suite aux trop fréquentes pertes.

Le marégraphe de **Crozet** est situé sur l'île de la Possession dans l'archipel de Crozet. Il a été installé en décembre 1994. Ce site a connu de nombreux problèmes de tous ordres et est de loin le plus difficile à maintenir. Le capteur de pression a été emporté en mars 2007 par une tempête. La réinstallation complétée du site est a eu lieu en novembre 2009 avec une station entièrement développée par la DT/INSU (station et capteur de pression). Les mouillages maintenus au large de Crozet nous permettent de « boucher » les trous d'observation de la station côtière.

Le marégraphe de **Dumont d'Urville** a été installé en février 1997 près de la base scientifique française de Dumont d'Urville en Antarctique. Le site est envahi par la banquise pendant l'hiver et n'est accessible que quelques mois durant l'été austral. Suite à de nombreux problèmes liés au site d'implantation du marégraphe, cette station a connu de nombreux déboires. En janvier 2008, l'installation a été complètement refaite sur un nouveau site et accueille une station de nouvelle génération du même type que celle de Kerguelen 2 (hors radar). La nouvelle installation permet les acquisitions des données à 2 minutes. Des campagnes de sessions à la bouée GPS depuis 2008 et des mesures de nivellement nous ont permis de rattacher cette station dans un repère absolu.

Le marégraphe de **Cap Denison**. Suite à l'installation en 2008 d'un capteur de pression à Cap Denison (Commonwealth Bay) dans le but d'évaluer le niveau de la mer actuel et d'effectuer le rattachement avec les données historiques datant de 1912 nous avons décidé de faire de ce site une station (semi)permanente. Le site s'avère propice à l'installation d'une station d'un point de vue technique en raison de la présence d'une équipe Australienne quelques mois par an, de la

possibilité de support logistique de l'IPEV et de la présence d'une station météo (AWS). D'un point de vue scientifique, cette station serait un apport non négligeable à l'étude de la circulation océanique et de l'interaction océan-glace dans la région du glacier Mertz. Une station est en cours d'installation.

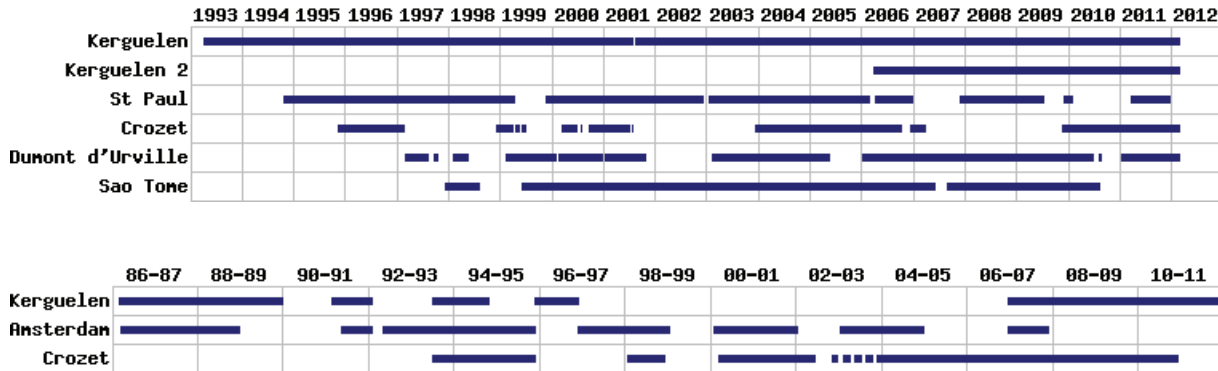


Figure 3 : périodes d'acquisition des observations du niveau de la mer pour les stations marégraphiques côtières ROSAME (et PIRATA) en haut et pour les mouillages en bas

Développements instrumentaux

Un signal d'évolution du niveau de la mer de l'ordre du mm/an impose aux capteurs une stabilité instrumentale bien inférieure au mm/an. A priori seuls certains marégraphes radars sont capables d'atteindre ce niveau de stabilité (même si nous n'avons pas encore assez de recul sur ces technologies). La rénovation complète du réseau ces dernières années ainsi que les premiers résultats des campagnes de nivellement et d'étalonnage sur les capteurs de pression (Aanderaa) ont révélés de fortes dérives instrumentales et nous ont conduits à faire des développements instrumentaux conséquents. Ces derniers ont été menés par la Division Technique de l'INSU à Brest et ont montré que seul un contrôle complet de la chaîne d'acquisition de la mesure nous permet d'obtenir une stabilité instrumentale inférieure au mm/an (Calzas et al. 2011, Drezen et al., 2011). C'est donc dans cette optique qu'a été développé un instrument (capteur de pression) dont la dérive peut être contrôlée et estimée (cf. Figure 4 à droite). Cet instrument permet de plus d'accueillir des capteurs complémentaires (oxygène, fluo). Il fonctionne soit en autonome (mouillage), soit en version marégraphe côtier piloté par une nouvelle station développée à la DT. Ce système (station+capteur de pression+radar) est déjà installé à Crozet (2009) et Dumont d'Urville (2012, cf. Drezen et al. 2011). Enfin, pour améliorer la fiabilité des bouées GPS, une étude a été menée dans le cadre d'un stage d'ingénieur et a débouché sur la création d'une bouée GPS (cf. Figure 4, à gauche).



Figure 4 : schéma de la bouée GPS (à gauche) et photo du capteur de pression développé par la DT/INSU

Chaîne de traitement

Les messages Argos reçus au LEGOS déclenchent automatiquement une chaîne de traitement capable de décoder la télémessure contenue dans le message Argos, elle en extrait les données brutes, puis les valeurs physiques sont calculées

Les contrôles automatiques interviennent à chaque étape du traitement (Téchiné et al. 2011). La visualisation du suivi temps réel des mesures est accessible sur le site web du LEGOS (<http://www.legos.obs-mip.fr/soa/rosame/>). Après traitement, les données temps réel des marégraphes côtiers sont automatiquement et quotidiennement mises à jour sur le site FTP anonyme du LEGOS. Au niveau national, les données du niveau de la mer sont récupérées par le SISMER (http://www.ifremer.fr/sismer/index_FR.htm) et par le SONEL (<http://www.sonel.org/>). Les données ROSAME sont également accessibles par l'intermédiaire du site web des Produits des Services d'Observation et d'Archive du LEGOS (<http://www.legos.obs-mip.fr/soa/>). Au niveau international, les données du niveau de la mer sont récupérées quotidiennement par l'ODINAFRICA (<http://www.odinafrica.net/>) dans le cadre de la COI de l'UNESCO (<http://ioc-unesco.org/>). Elles sont envoyées tous les mois pour archivage et libre accès à l'UHSLC (<http://uhsic.soest.hawaii.edu/>), dans le cadre du programme international GLOSS (<http://www.gloss-sealevel.org/>). De même, elles sont librement accessibles au BODC (<http://www.bodc.ac.uk/>).

Principaux résultats scientifiques

Une avancée importante sur les objectifs scientifiques du SO pour la période récente a été la mise en place d'un modèle barotrope aux éléments finis à haute résolution (TUGO/MOG2D) dans le secteur indien de l'océan austral (thèse de C. Maraldi, 2005-2008) ainsi que sur la région de Dumont d'Urville et du glacier Mertz (Mayet, 2009). Ces modèles sont actuellement les meilleurs modèles de marée pour ces régions (Maraldi et al., 2007, Mayet et al. 2012). Ils fournissent des informations importantes sur les amplitudes, le flux d'énergie de la marée et sa dissipation ainsi que sur l'extension du bloom phytoplanctonique du plateau de Kerguelen (Maraldi et al., 2009). Le modèle sur Kerguelen a permis d'améliorer les données altimétriques notamment en zone côtière (Maraldi et al., 2008, Testut et al., 2012) et d'initier l'étude de l'interaction océan-glace (Galton-Fenzi et al., 2008, Mayet et al., 2012).

Une avancée notable a aussi été faite sur la thématique du suivi à long terme du niveau de la mer avec la découverte et le rattachement de deux nouveaux repères historiques de niveau de la mer à Saint-Paul et Kerguelen (Anse Betsy) datant de 1874. Les repères historiques de Kerguelen (Baie de l'Observatoire 1902) et de Commonwealth Bay (1912) en Antarctique ont aussi pu être rattachés au niveau moyen actuel lors des dernières campagnes NIVMER. (cf. rapports de missions sur le site web <http://www.legos.obs-mip.fr/observations/rosame/communication/rapports/>). Ces nouvelles informations viennent compléter les travaux précédents sur l'étude de la tendance du niveau de la mer à Kerguelen qui nous avaient permis de déterminer l'évolution du niveau moyen à Kerguelen pour le dernier demi-siècle (Testut et al., 2006) et à Saint-Paul sur les 135 dernières années (Testut et al., 2011 et Figure 5). D'autre part, l'amélioration du contrôle des dérives instrumentales, de la précision des observations (Martin-Miguez et al., 2008 et 2011) et du rattachement de celles-ci dans des références absolues vont dans l'avenir améliorer la précision des estimations de tendance sur la période actuelle.

En ce qui concerne la calibration/validation, les travaux de thèse de C. Maraldi ont permis de mettre en évidence, dans les données altimétriques satellitaires, les ondes internes se formant sur la partie ouest du plateau des Kerguelen et de quantifier à l'aide de la modélisation les flux d'énergie liée à ces ondes (Maraldi et al. 2011).

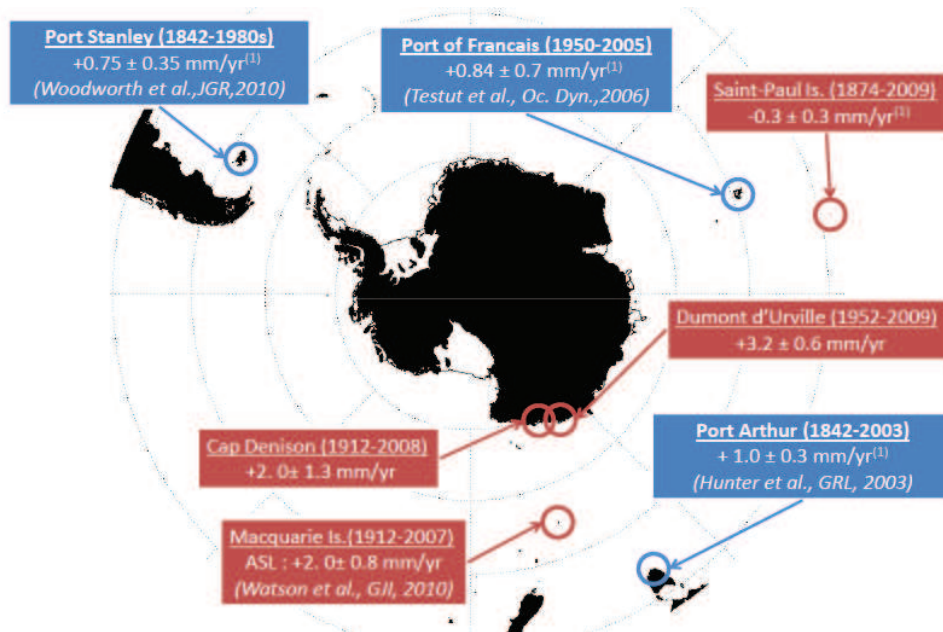


Figure 5 : Carte des estimations de tendance de niveau de la mer dans l'océan austral obtenue à partir de données historiques.

Remerciements:

Une partie des travaux présentés ici a été effectuée dans le cadre du programme NIVMER (prog 688 de l'IPEV). Les auteurs tiennent à remercier l'Institut Polaire (IPEV), les TAAF, les équipages de l'Astrolabe et du Marion Dufresne, la Division Antarctique Australienne (AAD), la Mawson Hut Foundation, le Service Hydrographique Français (SHOM) qui ont tous apporté leur soutien lors des différentes opérations NIVMER.

Références

- Calzas M., C. Drezen, C. Guillerm, L. Testut et P. Téchiné. Station marégraphique NIVMER. *Fiche d'actualité INSU, 2011, Brest*
- Drezen C., C. Guillerm, M. Calzas, A. Guillot, L. Testut, P. Téchiné, P. Bonnefond, O. Laurain, C. Gaillemin, G. Wöppelmann et L. Chauvaud. 2011. Installations de Mesures du NIVEAU de la MER.
- Drezen C., C. Guillerm, M. Calzas, A. Guillot, L. Testut et P. Téchiné. 2011. Développement d'une station marégraphique dans le cadre du programme NIVMER.
- Maraldi C., 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, doi:10.1029/2007GL030900
- Maraldi C. Modélisation de la dynamique barotrope de l'océan Indien Austral. Application à l'altimétrie. Thèse de l'Université de Toulouse III Paul Sabatier. Oct. 2008
- Maraldi C., M. Mongin, R. Coleman and L. Testut. 2009. The influence of lateral mixing on a phytoplankton bloom : Distribution in the Kerguelen Plateau. *Deep-Sea Research I*, doi:10.1016/j.dsr.2008.12.018
- Maraldi, C., F. Lyard, L. Testut, and R. Coleman. 2011. Energetics of internal tides around the Kerguelen Plateau from modeling and altimetry, *J. Geophys. Res.*, 116, C06004, doi:10.1029/2010JC006515.
- Martin-Miguez B., L. Testut, G. Wöppelmann. 2008. The Van de Casteele test revisited: an efficient approach to tide gauge error characterization. *Journ. of Atm. and Ocean Techn.* Vol. 25(7), p1238-1244, DOI:10.1175/2007JTECHO554.1
- Martin Miguez B., L. Testut, and G. Wöppelmann. 2011. Performance of modern tide gauges: towards the mm accuracy *Sci. Mar.*, accepted
- Mayet C., Modélisation haute résolution de la marée en Antarctique de l'Est. *Rapport de stage M2R, Toulouse, Sept 2009* (<http://www.legos.obs-mip.fr/fr/observations/rosame/communication/rapports/>)
- Mayet C., L. Testut, B. Legrésy, L. Lescarmonier and F. Lyard. 2012. High resolution barotropic modeling and the calving of Mertz Glacier, East Antarctica. *Submitted to Journ. of Geoph. Res.*



- Testut, L., G. Wöppelmann, B. Simon, and P. Téchiné (2006), The sea level at Port-aux-Français, Kerguelen Island, from 1949 to the present, *Ocean Dyn.*, 56, 464–472, doi:10.1007/s10236-005-0056-8.
- Testut, L., B. M. Miguez, G. Wöppelmann, P. Tiphaneau, N. Pouvreau, and M. Karpytchev. 2010. Sea level at Saint Paul Island, southern Indian Ocean, from 1874 to the present. *J. Geophys. Res.*, 115, C12028, DOI:10.1029/2010JC006404.
- Testut L., F. Birol and C. Delebecque. 2012. Regional tidal modeling and evaluation of tidal geophysical correction for Jason-2 altimeter data: a case study over the Kerguelen Plateau, Southern Indian Ocean. Submitted to *Marine Geodesy*.
- Téchiné P., B. Buisson, L. Testut et T. Delcroix. 2011. Suivi de réseaux d'observations océanographiques avec le langage de script Perl. *Journées nationales sur le DEVeloppement logiciel dans la Recherche et l'Enseignement Supérieur JDEV 2011*, 29-30 septembre 2011, Toulouse.