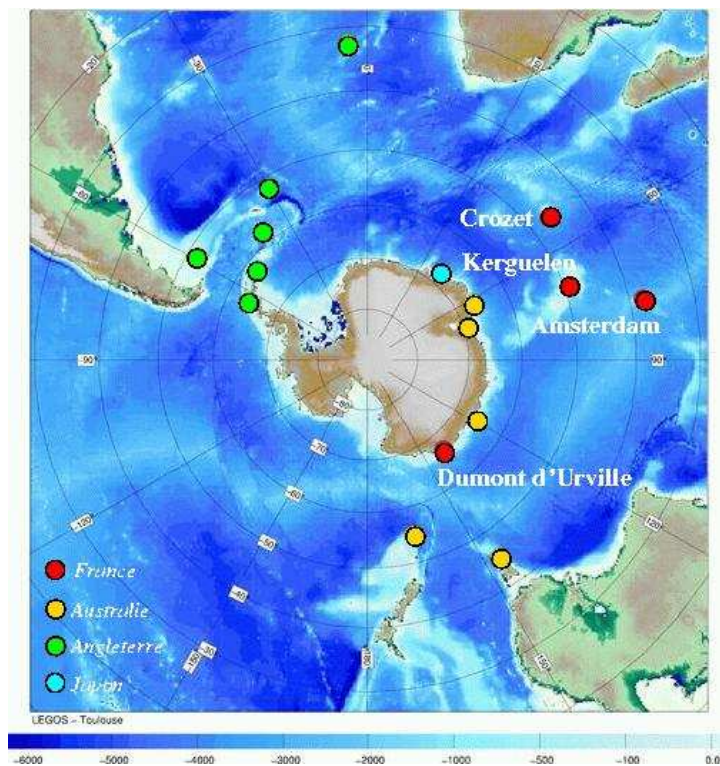


# ROSAME : Réseau d'Observation Sub-antarctique et Antarctique du niveau de la MER

Laurent TESTUT, Philippe TECHINE, Christian LE PROVOST et Fabien LEFEVRE  
LEGOS-UMR5566, 14 Av. Edouard Belin 31400 Toulouse

## Introduction

Le réseau ROSAME est une contribution française au réseau international GLOSS (Global Sea Level Observing System) d'observation de l'évolution à long terme du niveau de la mer. Il correspond au suivi de quatre sites de l'Océan Indien sub-Antarctique et Antarctique (Crozet, Kerguelen, Amsterdam/St-Paul, et Dumont d'Urville). Le niveau technologique de ces stations répond aux normes de qualité définies lors du programme WOCE, avec en particulier une transmission des données en temps réel afin de contribuer au suivi de la validation des mesures altimétriques satellitaires (TOPEX/POSEIDON, ERS1/2, JASON1 et ENVISAT), et au suivi de la variabilité du Courant Circumpolaire Antarctique. Ce réseau est maintenu dans le cadre du programme international CLIVAR (CLimate VARIability) coordonné au plan national par le PNEDC (Programme National d'Etude de la Dynamique du Climat).



**Figure 1:** Localisation des stations de mesure du niveau de la mer mises en place dans le cadre du programme de suivi du Courant Circumpolaire Antarctique (**vert** : stations anglaises ; **rouge** : stations françaises ; **jaune** : stations australiennes ; **bleu** : station japonaise).

## Historique

Ce programme a débuté en 1986, à l'initiative du Laboratoire d'Océanographie du Muséum d'Histoire Naturelle de Paris, sous la direction scientifique de B. Saint Guily, et sous la responsabilité technique de A. Lamy, ingénieur CNRS, avec l'aide logistique et financière des TAAF. Pendant 4 ans, ce programme a visé à maintenir deux stations marégraphiques d'observation mouillées l'une au nord de Kerguelen et l'autre au sud de l'île d'Amsterdam.

Après une année d'interruption en 1990, suite à l'immobilisation du Marion Dufresne, le programme a été repris par C. Le Provost, dans le cadre de WOCE (GLOSS), avec le soutien logistique et financier de l'IFRTP, le soutien technique de le DT/INSU et des crédits d'investissement de l'IFREMER, du Ministère de la Recherche et du CNRS/INSU. L'objectif central du programme a alors été d'installer 4 stations côtières d'observation du niveau de la mer, à

Crozet, Kerguelen, Amsterdam/St-Paul et Dumont d'Urville, équipées aux normes WOCE (i.e. avec télétransmission par satellite). Ces stations constituent ce qui s'appelle le réseau **ROSAME**.

- **Kerguelen** a été installée en 1992 et définitivement mise en service en 1993. Elle fonctionne depuis sans problème,

- **St-Paul** a été installée en 1994 et fonctionne depuis sans problème, malgré une interruption de plusieurs mois en 1999 suite à un problème de piles.

- **Crozet** a posé de nombreuses difficultés depuis son installation en 1994. Arrêtée au début de 1995 en raison d'un problème électronique, elle a été remise en service fin 1995, et de nouveau arrêtée début 1997 suite à un glissement de terrain. Remise en fonction fin 1998, elle a été à nouveau arrêtée en 1999 en raison d'un problème électronique, elle a été réparée chez le constructeur (MORS-Brest) avant d'être réinstallée en 2000. Le 30 juillet 2001 cette station a été emportée par une tempête. Une nouvelle station sera installée début 2004.

- **Dumont d'Urville** a été mise en route début 1997. Arrêtée en juin 1997, suite à une entrée d'eau dans le circuit de liaison entre le capteur et la station à terre, elle a été remise en état début 1998. A nouveau arrêtée en avril 1998, suite à de nouvelles infiltrations, elle a été remise en état fin 1998 pour être arrêtée à nouveau en 2001. Elle est en cours de réparation.

Afin de permettre de relier les observations faites à la côte par ces stations aux variations du niveau de la mer au large (considérées comme index de la variabilité des signaux océaniques), le programme d'observation par marégraphes immergés sur le rebord des plateaux a été poursuivi à Kerguelen jusqu'en 1996, et est maintenu à Amsterdam et Crozet. Ce sont les opérations **NIVMER** réalisées chaque année conjointement aux visites de maintenance des stations du réseau, avec le soutien logistique de l'IPEV et technique de l'INSU.

## MOYEN MIS EN ŒUVRE

### Stations côtières :

Les stations côtières sont composées d'un capteur de pression et température immergé dans un puits de tranquillisation, d'un câble de liaison et d'alimentation en énergie, et d'une centrale à terre, composée d'un module de communication avec le capteur immergé, d'un capteur de pression atmosphérique, et d'un module de gestion et archivage des mesures, avec transmission par ARGOS (cf. figure 2). Les stations de Kerguelen et St-Paul ont été conçues et produites par CLS-ARGOS. Les stations plus récentes de Crozet et Dumont d'Urville ont été adaptées des précédentes et produites par MORS. La nouvelle station de Crozet sera une nouvelle station développée par la société ELTA.

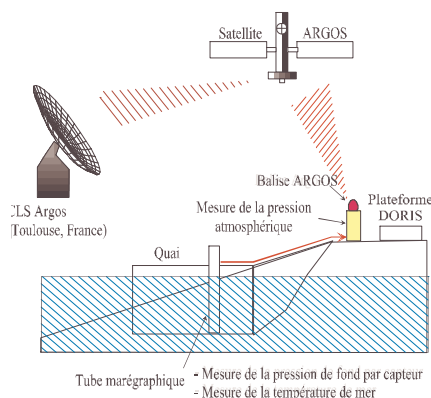


Figure 2: Schéma conceptuel des stations côtières.

### Stations de plateau :

Les stations de plateau sont des stations autonomes supportant un capteur de pression et température (cf. figure 3). Ces stations sont mouillées/relevées avec un rythme annuel.

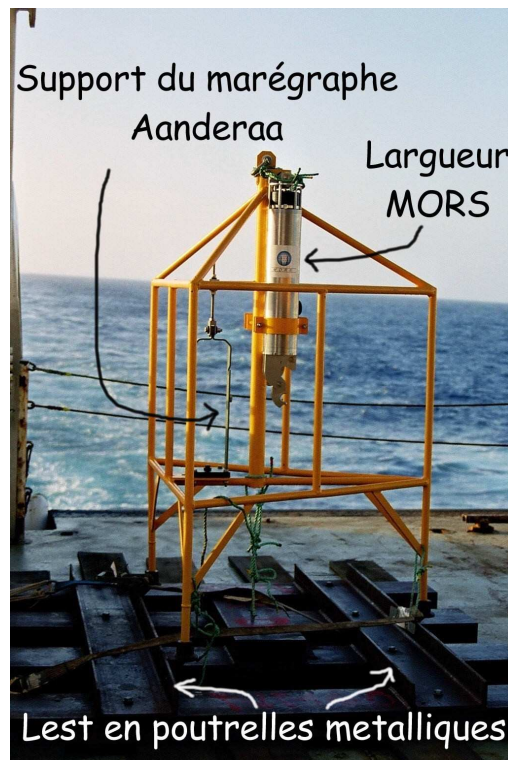


Figure 3 : Mouillage

La station côtière offre l'avantage d'une acquisition et transmission en temps réel, par satellite. Elle est de plus rattachée géodésiquement par un ensemble de repaires fixes et reliés à l'aide des techniques GPS et DORIS au centre de masse de la terre, dans le système ITRF. Elle comporte enfin un capteur de pression atmosphérique local. Par contre, situé à la côte, la mesure qu'elle effectue est contaminée par des effets locaux qui peuvent être gênants.

La station de plateau présente l'avantage d'être déployée sur le rebord du plateau continental, affranchi (non totalement) des effets côtiers. Mais elle présente deux inconvénients: la référence de niveau est perdue à chaque relevage de la station, et la pression atmosphérique locale, nécessaire pour convertir la mesure de pression en niveau de la surface libre de la mer, doit être déduite de celle mesurée à terre, avec une combinaison éventuelle d'informations venant des analyses des modèles de prévision météorologique.

### Transmission des données

Les données des stations côtières sont recueillies via ARGOS en temps réel. Elles sont immédiatement contrôlées afin de vérifier le bon fonctionnement des stations, et déclencher éventuellement une procédure d'intervention in situ. Elles sont validées en temps réel et transmises au centre d'archivage de Hawaï (Sea Level Fast Delivery Center) via Internet. Elles sont alors mises à la disposition de la communauté internationale qui peut les obtenir via Internet. Ces données sont accessibles sur un site ftp anonyme (<http://www.obs-mip.fr/umr5566/francais/obs/rosame/index.htm>) ou contacter : [Philippe.Techine@cnes.fr](mailto:Philippe.Techine@cnes.fr)).

Les mesures sont par ailleurs stockées directement dans les stations (celles à terre et celles immergées), et recueillies lors des visites annuelles. Ces mesures sont alors traitées, confrontées aux données recueillies par ARGOS, et transmises après validation au centre GLOSS d'archivage historique de Bidston (UK). Un bilan des observations recueillies depuis le début du programme est présenté sur la figure 4.

Donnees horaires du niveau de la mer des maregraphes du reseau ROSAME et Sao Tome

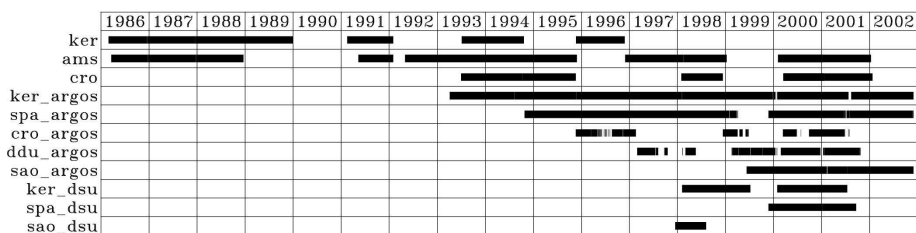


Figure 4: Diagramme matérialisant les périodes durant lesquelles les variations du niveau de la mer ont été acquises : AMS, CRO et KER sont des stations de plateau. CRO-ARGOS, DDU-ARGOS, KER-ARGOS et SPA-ARGOS sont des stations côtières. Les \_dsu sont les mémoires des stations côtières.

## Plan de développement

Les stations de Kerguelen et Crozet vont être bientôt équipées de capteur de salinité. Ceci en vu d'augmenter la précision de la conversion pression-niveau de la mer. Le site de Kerguelen, est un des sites de référence pour le monitoring à long terme de la calibration des altimètres satellitaires. La continuité des enregistrements doit donc être assurée sans faille: une deuxième station d'observation devra donc être installée sur ce site, dès que possible afin de parer à tout incident sur la station existante. Par ailleurs, l'établissement des bases de référence géodésique de ces stations et actuellement en cours. Ce travail doit être réalisé au cours des années à venir, si les moyens humains nécessaires peuvent être mobilisés. En ce qui concerne le traitement des données une nouvelle chaîne de traitement est en cours de développement et sera opérationnelle dans le courant de l'année 2003. Elle permettra un traitement en temps réel des mesures reçues par satellite ainsi que leur transmission aux différents centres d'archive internationaux.

## Exploitation scientifique des données

### L'étude des marées océaniques et de phénomènes hautes fréquences

L'étude intensive des marées océaniques est, dans le contexte des études climatiques, motivée par l'intérêt porté à l'utilisation de l'altimétrie satellitaire comme outil d'observation synoptique des circulations océaniques. Une meilleure connaissance de la contribution de la marée au signal altimétrique est nécessaire, pour pouvoir l'éliminer, et avoir accès au signal océanique associé aux circulations générales et à leur variabilité. Rappelons que, du fait de l'aliasing des composantes de haute fréquence du signal sur les basses fréquences (dû aux périodes de répétitivité des satellites altimétriques, de l'ordre de 10 à 30 jours), le signal des marées, principalement semi-diurne et diurne, contamine le signal océanique de méso-échelle et de basses fréquences. L'ensemble des données acquises dans le cadre de la composante Sea Level de WOCE a permis de valider les modèles de marées produits ces dernières années. Rappelons que notre modèle de prédiction des marées (Le Provost et al, 1998) a été retenu comme l'un des deux modèles recommandés pour les corrections des mesures altimétriques satellitaires de Topex/Poseidon dans les zones océaniques. Nous avons depuis entrepris le développement d'un nouveau modèle avec comme objectif de proposer un modèle de prédiction fiable sur les zones littorales, ce qui n'est pas le cas actuellement pour les divers modèles globaux disponibles (Lefèvre et al, 2000). Une analyse récente de toutes les données disponibles dans la banque de Hawaii a été par ailleurs réalisée pour définir les barres d'erreur sur les composantes harmoniques de marée nécessaires pour leur utilisation dans les procédures d'assimilation (Ponchaut et al, 2001).

Un modèle barotrope de réponse de la surface libre de l'océan aux forçages atmosphérique a été développé récemment au LEGOS dans le cadre de la mission JASON1 (Carrere et al, 2003). Une modélisation régionale des phénomènes haute-fréquence dans la région des Kerguelen est prévue dans le courant de l'année 2003.

### La validation des observations satellitaires

L'altimétrie satellitaire est une technique d'observation de l'océan dont l'importance est désormais clairement établie, en particulier suite aux missions ERS1/2 et T/P relayées maintenant par les missions JASON1 et ENVISAT. Ceci ce fait en parallèle aux programmes de nature scientifique (CLIVAR) ou opérationnelle (GODAE). En accompagnement de ces mesures altimétriques, la mesure in situ du niveau des océans est indispensable:

- pour fournir des séries temporelles, ponctuelles dans l'espace, mais continues dans le temps, à fin de comparaisons avec celles obtenues par altimétrie, synoptiques dans l'espace, mais discontinues dans le temps,
- pour contribuer à la validation des mesures altimétriques,
- pour apporter un moyen de relier entre eux des jeux de données altimétriques venant de satellites différents, à des périodes successives.

Les opérations menées dans le cadre de ROSAME correspondent ainsi à une contribution significative dans ce contexte, en particulier en raison de leur situation, au sud de l'Océan Indien. Ces données ont été comparées aux mesures altimétriques de l'altimètre T/P dans le voisinage des sites d'observation (Yoon, 1997 ; Cazenave et al, 1999). La concordance des mesures est particulièrement bonne pour le site d'Amsterdam pour le cycle saisonnier. Elle est aussi très satisfaisante sur le site de Crozet. Par contre, les comparaisons sur le site de Kerguelen sont plus complexes, en raison de l'extension du plateau continental sur cette zone. Malgré cette complexité, ce site a été retenu comme site de référence (pour la zone Océan Indien Sud) dans le cadre d'un réseau de 30 marégraphes (GLOSS-Alt) inscrit au plan d'implémentation de GLOSS pour la calibration sur le long terme des missions altimétriques satellitaires.

#### Le suivi du courant circumpolaire antarctique

Cette composante du programme scientifique associé à ROSAME, et plus largement aux stations du réseau mondial situées dans l'Océan Austral vise à étudier la faisabilité d'un suivi du courant circumpolaire Antarctique, du passage du Drake à l'entrée du Pacifique, reposant en particulier sur les mesures in situ des variations du niveau de la mer. La contribution anglaise ACCLAIM (Antarctic Circumpolar Current Levels for Altimetry and Island Measurements) concerne les secteurs Drake, et Atlantique Sud Est. La contribution française se situe sur le secteur Crozet-Kerguelen, d'une part, et sur la section Australie-Antarctique, en coopération avec les Australiens (S.Rintool) (cf. figure 1).

L'observation continue des niveaux entre Kerguelen et Amsterdam est menée depuis 1986. Les signatures de la variabilité des transports dans le Courant Circumpolaire Antarctique (CCA) sont de l'ordre de 10 cm. L'analyse spectrale de ces signaux révèle une grande variété de pics d'énergie distribués sur tout le spectre, allant de quelques jours à de l'interannuel. L'observation de la pression atmosphérique aux stations côtières nous a permis (Yoon, 1997) d'interpréter en terme d'effet de baromètre inverse les pics d'énergie dans tous les signaux analysés dans la bande de 10 à 60 jours. Lorsque les séries sont filtrées à 60 jours, les signaux résiduels sont dominés par des oscillations dont les périodes se situent entre 120 et 180 jours. Park et Saint Guily (1992) ont interprété les oscillations identifiées dans les données de Géosat dans la bande 2 à 4 mois en terme d'ondes de Rossby semi-annuelles advectées par le CCA. Cette interprétation a été confortée par Hugues (1995) sur la base des résultats de la simulation du CCA dans le cadre de FRAM. Cette contribution des ondes de Rossby doit être mieux comprise afin de l'éliminer des observations et accéder à la variabilité saisonnière à interannuelle du transport dans le CCA.

#### L'observation des variations séculaires du niveau de la mer

A l'échelle globale planétaire, l'élévation moyenne du niveau de la mer est actuellement de l'ordre 1 ou 2 mm / an, estimation basée sur l'analyse des observations marégraphiques archivées depuis plus d'un siècle. En relation avec le réchauffement attendu de notre planète par effet de serre, un scénario raisonnable conduit à prédire une élévation moyenne du niveau des océans de l'ordre de 50 cm au cours du prochain siècle. Si l'on se fixe comme objectif de détecter cette tendance sur les 10 années qui viennent avec une incertitude de 10%, le problème posé est donc de détecter une élévation globale de 5 cm avec une déviation standard de 5 mm sur ces 10 ans. Si l'on retient comme variabilité typique interannuelle du niveau de la mer un signal de l'ordre de 50 mm avec une pseudo-périodicité de 5 ans, les contraintes posées ci dessus conduisent donc à conclure qu'il faut disposer d'enregistrements de haute qualité en 50 stations indépendantes, à l'échelle globale planétaire. D'où le programme GLOSS, dont l'objectif est la constitution et la maintenance d'un réseau de stations de mesure du niveau de la mer décorréllées, et réalisant des mesures continues contrôlées avec précision. Les quatre stations françaises du réseau ROSAME font partie de ce réseau. Comme les déformations géodynamiques des socles sur lesquels les appareils sont installés introduisent dans le signal observé une composante étrangère au problème, il est nécessaire de connaître les mouvements verticaux de ces socles, et donc de les mesurer avec une précision compatible avec celle évoquée ci dessus. Une étude a été réalisée à l'IGN pour évaluer les possibilités offertes par le système GPS pour localiser ces stations marégraphiques dans le repère ITRF, par rapport au centre de la terre, afin de suivre le déplacement vertical de ces stations sur le long terme. Au cours de la campagne NIVMER94 des repères géodésiques ont été posés autour des trois stations de Crozet, Kerguelen et St Paul, ainsi que des piliers GPS à Crozet et Kerguelen,

rattachés chacun par nivellement aux repères géodésiques. Trois campagnes GPS ont été réalisées à Kerguelen en 1994, 1995 et 2003, ainsi qu'un rattachement des mesures du niveau de la mer de KER-ARGOS au système de repères géodésiques qui entourent la station. Nous avons étudié plus récemment au LEGOS l'évolution comparée du niveau de la mer enregistré par marégraphes, de celui observé par le satellite T/P, et du mouvement vertical du socle terrestre des sites marégraphiques, via le système DORIS. L'impact de la variation verticale de la croûte terrestre sur l'évolution locale du niveau de la mer a été démontré en de nombreux points du réseau GLOSS-Alt (Cazenave et al, 1999).

#### Références récentes

- [00] **Yoon H.J.**, Les variations du niveau de la mer sur la région d'Amsterdam- Crozet-Kerguelen, thèse de l'Université de Grenoble, Mai 1997.
- [01] **Le Provost C., Lyard F., Molines J.M., Genco M.L., Rabilloud F.**, A hydrodynamic ocean tide model improved by assimilation a satellite altimeter-derived data set, *J.Geophys.Res.*, Vol 103, C3, 5513-5529, 1998.
- [02] **Lyard F.**, Data assimilation in a variational ocean tide model, *Journal of Comp. Physics*, 1998.
- [03] **Cazenave A., K. Dominh, F. Ponchaut, L. Soudarin, J.F. Crétaux and C. Le Provost**, Sea Level Change from Topex/Poseidon altimetry and tide gauges, and vertical crustal motions from DORIS, *G. Res. Let*, Vol 26, N°14, 2077-2080, 1999.
- [04] **Lefèvre F., C. Le Provost and F. Lyard**, How to improve a global ocean tide model at a regional scale: a test on the Yellow Sea and East China Sea, , *J. Geophys. Res.*, 105, C5, 8707-8726, 1999.
- [05] **Le Provost C.**, Ocean Tides, in " Satellite Altimetry and Earth Sciences ", L. L. Fu and A. Cazenave ed., Academic Press, 267-304, 2000.
- [06] **Lefèvre F., F. Lyard and C. Le Provost**, FES98: a new global finite element solution independent of altimetry, *Geophys. Res. Letters*, Vol. 27, N°17, 2717-2720, 2000.
- [07] **Lefèvre F.**, Modélisation des marées à l'échelle globale : assimilation des données in situ et altimétriques, thèse de doctorat, Université Paul Sabatier, Toulouse, 22 septembre 2000.
- [08] **Ponchaut, F., F. Lyard, F. and C. Le Provost**, An Analysis of the tidal signal in the WOCE Sea Level Dataset. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* **18**, 77-91, 2001.
- [09] **Cabannes C., A. Cazenave and C. Le Provost**, Sea level changes from Topex-Poseidon Altimetry for 1993-1999 and possible warming of the Southern Oceans. In press, *Geophys. Res. Letters*, 2001.
- [10] **Cabannes C., A. Cazenave and C. Le Provost**, Sea level rise during the 1990s and past 40 Years, Observations and climate related contributions, 294, 840-842, *Sciences*, 2001.
- [11] **Lefèvre F., F. Lyard, C. Le Provost and E.J.O. Schrama**, FES99: a global tide finite element solution assimilating tide gauge and altimetric information, *J.A.O.T.*, Vol.19, pp 1345-1356, 2002.
- [12] **P.L. Woodworth P. L., C. Le Provost, L.J. Rickards, G.T. Mitchum, M. Merrifield**, A Review of Sea-Level Research from Tide Gauges during the World Ocean Circulation Experiment, *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review*, Vol. 40, 1-35, 2002.
- [13] **Carrere L. and F. Lyard**, Modelling the barotropic response of the global ocean to atmospheric wind and pressure forcing - comparisons with observations. In press, *Geophys. Res. Letters*, 2003.