

3.2.5 APPORT DES MESURES GEODESIQUES : Marégraphie

Introduction

L'année 2006 a été particulièrement productive si l'on se réfère aux critères classiques d'évaluation de la recherche : six articles de rang international sont publiés, ou en cours de publication, et un autre soumis. Ce niveau de production traduit une certaine maturité, atteinte par les chercheurs de l'équipe dans le domaine, et par l'accumulation de mesures particulières de contrôles 'in situ', que seul le soutien du GRGS a permis d'acquérir. C'est aussi le résultat d'une masse critique suffisante, atteinte grâce au recrutement d'un ingénieur d'étude en CDD à travers le GRGS (B. Martin Miguez). Cette personne est en effet intervenue dans quatre des publications susmentionnées. Deux portent sur l'exploitation des opérations d'étalonnage démarrées grâce aux crédits GRGS avec des résultats méthodologiques sur la caractérisation des erreurs des marégraphes ; ils sont commentés dans la section 2. Les deux autres portent sur la valorisation scientifique des données de marégraphie ; ils sont résumés dans la section 4. La présence de cette personne a aussi permis d'envisager, puis d'organiser, un colloque dédié à la marégraphie (cf. section 3). Le rapport revient également sur les évolutions technologiques récentes, aussi importantes que le passage des marégraphes mécaniques aux marégraphes à ultrasons au début des années 1990. Elles concernent les marégraphes radar et les besoins en communication des mesures enregistrées en temps réel ou très peu différé.

Evolutions technologiques

De l'intérêt du test de van de Castele

Les expériences réalisées en laboratoire ne rendent pas compte des conditions de mesure et des réalités terrain, très variables d'un site marégraphique à l'autre. Or, l'installation du matériel 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 que la calibration ou à la dérive des altimètres radar embarqués sur satellite ou à des variations climatiques du niveau marin (1-2 mm/an), il est donc indispensable de mener à bien sur le terrain des opérations régulières d'étalonnage au cours desquelles on compare les mesures faites par le marégraphe avec celles d'un dispositif étalon, supposé plus précis et/ou plus juste. C'est l'un des objectifs importants de cette proposition : étudier les performances des marégraphes dans le temps, en particulier les marégraphes français qui sont affichés dans les programmes internationaux et qui sont équipés de stations de géodésie spatiale. Les premiers résultats obtenus sont d'ordre méthodologique. Ils portent sur les marégraphes radar et montrent 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 (Martin Miguez et al. 2007). Les expériences d'étalonnage sont toutefois peu nombreuses encore, il convient de les poursuivre pour accumuler du matériel et permettre une recherche approfondie des causes à l'origine des erreurs détectées.

Du marégraphe ultrason vers le radar

La technologie radar gagne du terrain dans le domaine de la mesure du niveau de la mer. La France à travers le SHOM est pionnière dans l'application de cette technologie à son réseau de marégraphes RONIM (Figure 1, section 3.1). L'expérience acquise à ce jour montre des atouts opérationnels intéressants, de même qu'une précision centimétrique dans la mesure de hauteur d'eau en accord avec les spécifications du programme mondial GLOSS¹, à condition que leur installation soit appropriée (Martin Miguez et al. 2007). De plus, l'exploitation des étalonnages 'in situ' que nous avons menés depuis 2000 sur quelques marégraphes acoustiques montrent qu'ils présentent souvent des erreurs systématiques qui, soit ne gênaient pas l'hydrographie, soit étaient passées inaperçues, mais que les étalonnages permettant un test de van de Castele ont décelées. En conséquence, une recommandation importante pour la communauté des chercheurs est qu'il est indispensable de prendre en main cette question à un niveau de précision que les besoins de l'hydrographie ne requiert pas, en déployant une politique rigoureuse de contrôles systématiques 'in situ' des marégraphes, politique qui justifie la création et la reconnaissance par l'INSU d'une infrastructure d'observatoire de type SONEL (section 3.4), appuyée sur la fédération des réseaux de stations existantes (RONIM, ROSAME) et en émergence (densifications régionales). Par ailleurs, la question de l'évaluation détaillée de la qualité des observations des quelques quinze ans de mesures acoustiques est posée.

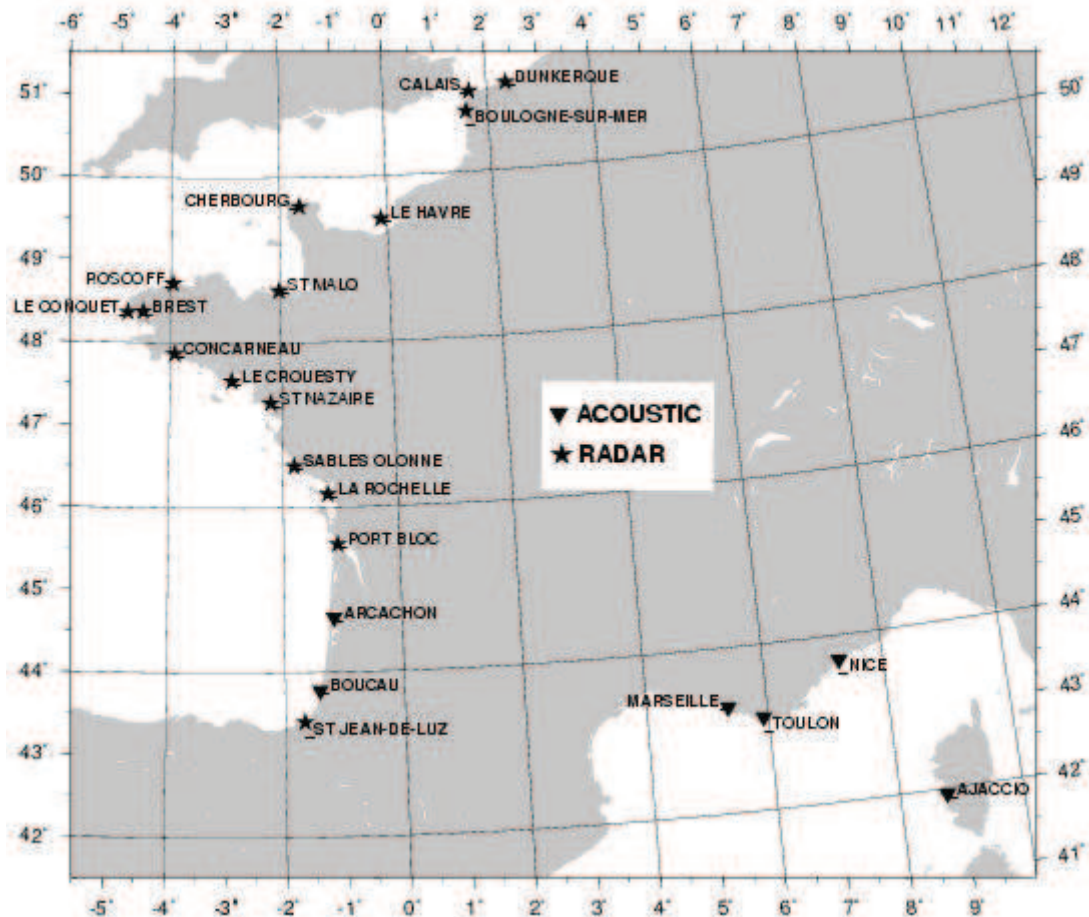


Fig 1 : Evolution du réseau RONIM vers des marégraphes radar au 30 mars 2007.

¹ GLOSS : Global Sea-Level Observing System, <http://www.gloss-sealevel.org/>

Le temps réel

Le tsunami du 26 décembre 2004 a eu un fort impact sur les développements techniques en cours. En effet le besoin soudain de mesures à très hautes fréquences, avec un échantillonnage des mesures de 1 minute et une transmission au centre d’alerte avant 15 minutes, alors que le standard des réseaux marégraphiques était au mieux d’un échantillonnage de 15 minutes et une transmission dans l’heure, a obligé à revoir complètement les cahiers des charges et la politique d’installation de marégraphes, aussi bien dans les réseaux RONIM que ROSAME. Le SHOM et le LEGOS se sont fortement impliqués à étudier cette question et à répondre aux engagements des pouvoirs publics dans la mesure des moyens qui leur ont été attribués. C’est ainsi que les prévisions d’installation à Kerguelen et à Dumont d’Urville ont été affectées. Mais grâce à une forte implication de l’institut polaire IPEV la nouvelle station de Kerguelen est devenue la première station française opérationnelle du réseau d’alerte aux tsunamis dans l’océan indien. Les stations de Kerguelen et de Dumont d’Urville ont ainsi bénéficié des améliorations technologiques nécessaires à la mise en place du réseau de surveillance des tsunamis dans l’océan indien. Ces deux stations enregistrent maintenant les données à haute fréquence (2 minutes). Outre l’étude de solutions techniques et matérielles pour communiquer les observations en temps réel, des actions sont menées par le LEGOS et par le SHOM pour la gestion et le traitement de ces flux des données.

Réseaux de marégraphes

Le réseau RONIM

La carte de la figure 1 donne une idée de l’état du réseau de marégraphes RONIM. Cette carte souligne le type de capteur opérationnel, acoustique ou radar. A cette figure il faut ajouter les stations outre métropole, à savoir : Nouméa, Fort-de-France, Pointe-à-Pitre, et Iles Royales (Guyanne), soit 26 marégraphes opérationnels. A terme les capteurs radar remplaceront les acoustiques, et des nouvelles centrales d’acquisition équiperont les stations. Ce fut le cas des stations de Concarneau et de Dunkerque en 2006. Soulignons par ailleurs l’installation du marégraphe des îles du Salut (Cayenne, Guyanne) en 2006, comblant ainsi une lacune et un engagement de la France au programme mondial GLOSS. Il s’agit de la station GLOSS n° 202. En 2007 est d’ores et déjà prévu l’installations de la station de La Réunion (GLOSS n°17) et une participation du SHOM à l’installation de Mayotte (GLOSS n°96).

Le réseau ROSAME

Rappelons que le réseau ROSAME fonctionne depuis 1993 ; qu’il est labellisé comme service d’observation INSU depuis 1997 et comme ORE depuis 2002. ROSAME est constitué de quatre stations marégraphiques côtières localisées dans les Terres Australes et Antarctiques Françaises. Trois de ces stations sont situées dans la partie Indienne de l’océan Austral, à Kerguelen, Crozet et Saint-Paul ; la quatrième station est située sur le continent Antarctique à Dumont d’Urville. (Plus de détails: <http://www.legos.obs-mip.fr/fr/observations/rosame/>).

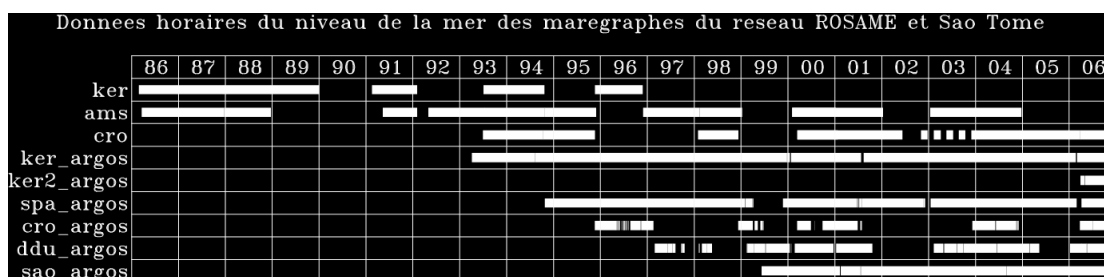


Fig2 :Chronogramme des données disponibles

Une grande part de l'activité ROSAME est naturellement consacrée à la maintenance et au développement du réseau. Les travaux sur la période 2002-2006 ont été effectués lors de cinq missions en mer d'un mois dans les TAAF à bord du Marion Dufresne et d'une mission en Terre Adélie à bord de l'Astrolabe. Outre les développements mentionnés dans la section 2.4 liés au temps-réel, deux grands chantiers prioritaires étaient la rénovation complète et la sécurisation des stations. Ainsi grâce au développement d'une nouvelle génération de station, à l'édification de nouvelles structures d'accueil des stations côtières et à la mise sur le secteur des stations de Kerguelen et Dumont d'Urville les trois quarts du réseau est rénové et sécurisé, avec le soutien indispensable de l'IPEV et des Volontaires à l'Aide Technique (VAT) présents sur place. Il était aussi fondamental d'améliorer autant que possible la qualité des données. Des capteurs de conductivité équipent donc désormais les stations (donnant une information sur la salinité), des campagnes de surveillance géodésique des sites ont été initiées, et des étalonnages mensuels à l'échelle de marée sont effectués à Kerguelen. Une nouvelle station d'acquisition équipée de deux capteurs de niveau de la mer de technologie différente a également été développée. Sa vocation est de détecter et d'évaluer des erreurs systématiques ou des dérives à long terme dans les capteurs (Martin Miguez et al., soumis). Enfin en aval de tous ces développements sur le terrain, la mise au point d'une chaîne de traitement automatique des données est maintenant opérationnelle. Elle a demandé trois ans de travail. Le suivi temps réel sur le web est ainsi possible (cf. adresse web ci-dessus). Les données sont archivées au LEGOS et sont accessibles sur son site FTP.

Le rattachement géodésique

Le contrôle géodésique de la référence des observations des marégraphes est un deuxième volet important dans la construction de séries temporelles de qualité pour la recherche. Peu de marégraphes français sont malheureusement complétés par des stations GPS ou DORIS permanentes : 9 sur 30 (RONIM+ROSAME), dont 5 GLOSS sur les 15 stations sous responsabilité française. Il convient également de signaler les difficultés rencontrées aujourd'hui lorsqu'une station GPS permanente tombe en panne, exemple de Brest (Tiphaneau et Wöppelmann, 2006), qui n'a pas acquis de mesures pendant 7 mois. Il s'agit pourtant d'une station dite IGS, et Brest est l'un des marégraphes les plus importants au monde en raison de sa série temporelle plusieurs fois centenaire (Wöppelmann et al. 2006). S'il n'y a pas de conséquences pour la topographie, l'interruption d'une série temporelle GPS pour la recherche de mouvements verticaux tenus est critique. La diminution notable des coûts d'une station GPS permanente ne justifie plus cette situation (interruption longue de séries de mesures, complément GPS sur marégraphes d'intérêt). Ici aussi, une infrastructure de type SONEL contribuerait à améliorer la situation. Une alternative « pauvre » et aux résultats incertains dans les études des mouvements verticaux des marégraphes est de faire des mesures ponctuelles en campagne de quelques jours ou en mode semi-permanent pendant 1-2 mois, répétées régulièrement. Le marégraphe de Cayenne a ainsi été observé en 2006 pendant quelques jours et quelques sites ont été visités en vue d'observations semi-permanentes (Tiphaneau, 2006a, 2006b). Mentionnons que des travaux sont en cours pour étudier la stabilité locale du site marégraphique de Kerguelen, et des opérations de calibration à l'aide de bouées GPS sont prévues aussi, à Kerguelen et à Dumont d'Urville.

Le système d'observation SONEL

Du 18 au 19 avril 2006 s'est tenu à La Rochelle un colloque sur le niveau marin, organisé par le laboratoire CLDG. Intitulé "SONEL, vers une infrastructure d'observatoire du niveau des eaux littorales en France ?". L'objectif était de dresser un bilan du service d'observation proposé par SONEL depuis janvier 2003, date de la première diffusion sur Internet (www.sonel.org) des valeurs horaires mesurées par les marégraphes, et d'explorer l'avenir de cette infrastructure. Seize présentations orales ont alimenté les quatre thèmes affichés dans ce colloque, à savoir : 1/

Surcotes et niveaux extrêmes ; 2/ Synergie avec l'altimétrie radar embarquée sur satellite ; 3/ Sauvetage et valorisation d'observations historiques ; 4/ Evolutions technologiques. Quarante six personnes ont participé au colloque ; à noter la présence de quelques participants venant d'organismes étrangers: espagnol, anglais et norvégien. Les phénomènes traités dépassent en effet les frontières des pays. SONEL se veut une infrastructure à l'échelle nationale, point d'entrée aux données françaises aisément identifiable par les programmes internationaux et services analogues à l'échelle mondiale ou européenne. A ce titre il convient de souligner la présence de la directrice du service européen du niveau de la mer (ESEAS), Mme Bente L. Bye, qui a participé à la table ronde animée par Serge Allain (SHOM), aux côtés de Claude Boucher (chargé de mission à la direction de la technologie du Ministère de la Recherche), Nicolas Florsch (chargé de mission de la direction de la recherche du même ministère), Pascal Lebreton (CETMEF), Denis Paradis (Météo-France), Fabien Lefèvre (société CLS) et Paolo Pirazzoli (directeur de recherches au CNRS).

Un premier constat de ce colloque est clairement le besoin d'un forum dans lequel les divers acteurs et utilisateurs des données du niveau de la mer puissent se retrouver. Un colloque annuel, ou bien tous les deux ans, pourrait satisfaire en partie ce besoin d'acquérir et d'échanger des connaissances, des expériences, et des savoir-faire. Un deuxième constat est que le principe de participation volontaire ou de « best effort » qui a sous-tendu le développement de SONEL jusqu'à ce jour a des limites très concrètes que nous avons atteintes ; la garantie d'une continuité du service en fait partie. Il devient important de trouver un cadre légitime à l'échelle nationale qui permette de poursuivre les développements et d'assurer un service d'observation à l'échelle des ambitions affichées. Il s'agit en particulier de fédérer les réseaux existants de marégraphie (RONIM, ROSAME) et de veiller à l'intégration des réseaux émergents à l'échelle territoriale dans un système unique. Il suppose également le contrôle de la qualité des observations et des performances des instruments ; leur taxinomie au regard des applications et des spécifications des programmes internationaux. Il vise le développement raisonné et rationnel des efforts dans le domaine de l'observation 'in situ' du niveau marin à la côte ; l'échange de savoir-faire et de résultats ; le sauvetage d'observations historiques ; la valorisation scientifique des observations acquises par des organismes qui n'en ont pas toujours la vocation. Aujourd'hui, la coordination de la marégraphie par le SHOM semble acquise et naturelle à l'ensemble de la communauté de par son savoir-faire et expérience séculaires dans le domaine (Allain 2005). Par ailleurs, la reconnaissance de SONEL par la communauté recherche est en cours au travers d'une demande de labellisation déposée auprès de l'INSU (Wöppelmann 2006).

Valorisation scientifique

Outre les articles de rang international mentionnés dans les sections précédentes, et qui portaient surtout sur des questions techniques, nous soulignons ici quelques résultats marquants qui ont également été publiés dans des revues de rang international.

Evolution de l'onde M2 à Brest sur plus de 150 ans

Le travail long d'enquête, de sauvetage, de contrôle qualité, et d'analyse des mesures anciennes du niveau de la mer à Brest découvertes récemment dans les archives historiques a permis de compléter l'étude menée en 1972 par Cartwright qui concluait à une atténuation significative et régulière de l'amplitude de l'onde de marée semi-diurne M2 de 1% par siècle (Pouvreau et al. 2006). La figure 3 confirme la tendance à la diminution observée par Cartwright en 1972, mais seulement entre 1885 et 1960. Depuis 1960, nos résultats indiquent que la tendance s'est inversée. Par ailleurs, une augmentation est également visible entre 1846 et 1885 remettant en cause l'idée d'une atténuation régulière et séculaire de l'amplitude de M2 depuis 1711. L'allure de la courbe de la figure 3 suggère plutôt un phénomène cyclique à longue période qu'une tendance séculaire à l'atténuation. Il est toutefois difficile de réellement conclure à un

phénomène périodique, même si la tentation est grande d'en estimer la période. Elle serait alors de l'ordre de 141 ± 5 ans, avec une amplitude de $0,011 \pm 0,001$ m, résultat obtenu en effectuant un ajustement non linéaire de l'amplitude, de la période et de la phase d'une fonction sinusoïdale en appliquant l'algorithme de Levenberg-Marquardt. Le développement harmonique du potentiel générateur de la marée ne montre aucune composante qui puisse expliquer ce phénomène. L'hypothèse d'un effet non linéaire a été étudiée mais s'est révélée infructueuse. Aucune combinaison valide du point de vue la théorie astronomique de la marée ne peut expliquer une modulation de M2 à cette période.

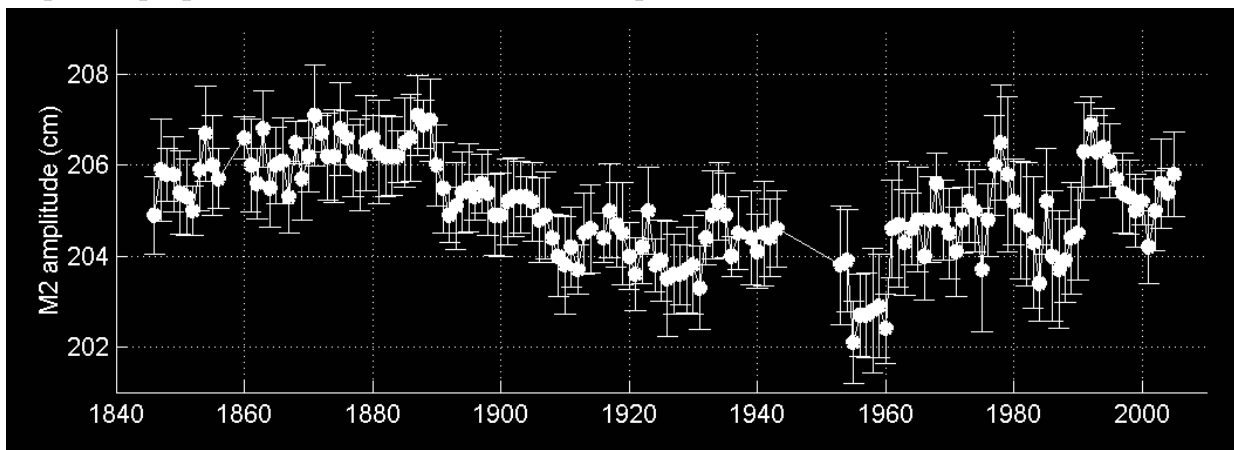


Fig3 : Evolution de l'amplitude de l'onde de marée M2 à Brest (les barres d'erreur correspondent à \pm un écart-type (d'après Pouvreau et al. 2006).

Le niveau marin à Kerguelen depuis 1949

Afin de permettre de détecter l'évolution à long terme (> 10 ans) du niveau de la mer, et une éventuelle accélération de la tendance, il est nécessaire de pouvoir éliminer la variabilités saisonnières et inter-annuelles contenues dans les signaux observés. Il est nécessaire de surveiller la stabilité de la croûte terrestre dans les zones où les marégraphes sont installés, et de mesurer leurs éventuels mouvements verticaux, d'où la nécessité de mettre en place un suivi géodésique à long terme des références locales par GPS et DORIS. Ce programme a été engagé dans le réseau ROSAME avec l'aide de l'IGN, du SHOM et du CNES.

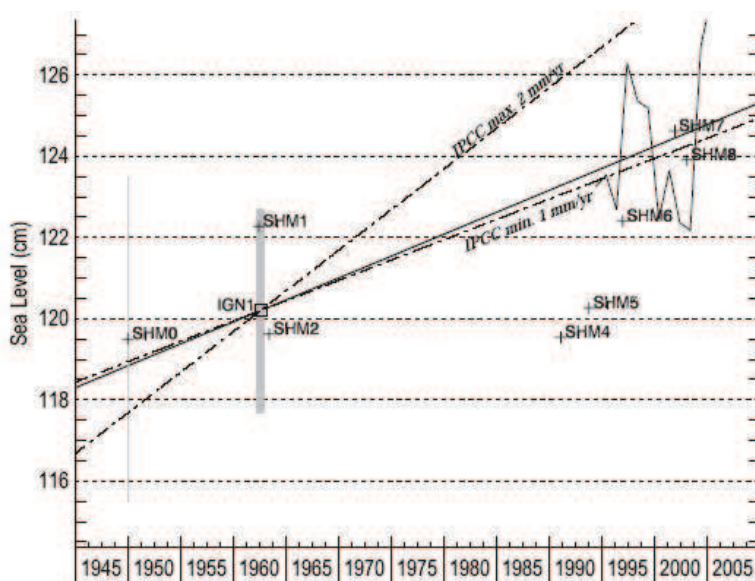


Fig4 : Variation relative du niveau de la mer à Port-aux-Français (Kerguelen) depuis 1949. Le niveau de la mer est exprimé en cm au dessus du zéro hydrographique. Les croix notées SHMx ou IGN correspondent aux mesures ponctuelles effectuées par le SHOM ou l'IGN. La courbe correspond aux moyennes annuelles du marégraphe côtier de Kerguelen (Extrait de Testut et al. 2006).

De plus grâce à l'installation par le SHOM d'une échelle de marée et avec l'aide des VAT sur place les premiers contrôles *in situ* d'étalonnage du capteur de pression ont commencé à Kerguelen avec des résultats très encourageants quant à leur précision. Grâce à ce travail sur le terrain les données récentes de Kerguelen (1993-2005) ont pu être rattachées aux données historiques du SHOM et nous ont permis de déterminer l'évolution du niveau de la mer sur le dernier demi-siècle précédent (Figure 4) : la hausse observée du niveau marin est de l'ordre de 1.1 ± 0.7 mm/an (Testut et al. 2006). Ce résultat se situe dans la partie basse des estimations de l'IPCC et il est en accord avec les autres observations de l'océan austral sur une période à peu près équivalente: Port Arthur (Tasmanie) et Port Stanley (îles Falkland).

Corrections GPS versus GIA : une solution au 'Sea level Enigma' ?

La question de la correction des mouvements verticaux du sol dans les séries temporelles de marégraphie n'a trouvé qu'une solution partielle à ce jour : dans le meilleur des cas, les analyses incluent les corrections d'un modèle d'un seul des nombreux processus qui peuvent affecter la stabilité du sol sur lequel reposent les marégraphes, à savoir le rebond post-glaciaire, ou ajustement glacio-isostatique (GIA). Une approche alternative est la mesure de ceux-ci par géodésie spatiale. A cette fin, Wöppelmann et al (2005) ont mis en place un centre d'analyse de mesures GPS global dédié, centre que le GRGS a soutenu en 2006 dans l'expérience 'TIGA' de M-N. Bouin. Les résultats récents obtenus par Wöppelmann et al. (2007) montrent que la dispersion des tendances individuelles des marégraphes est clairement réduite, aussi bien à l'échelle globale qu'à l'échelle des groupements régionaux de effectués par Douglas (2001) sur des considérations d'ordre océanographiques. La figure 4 illustre ce commentaire dans deux régions, en Europe du Nord et en Amérique du Nord-Ouest.

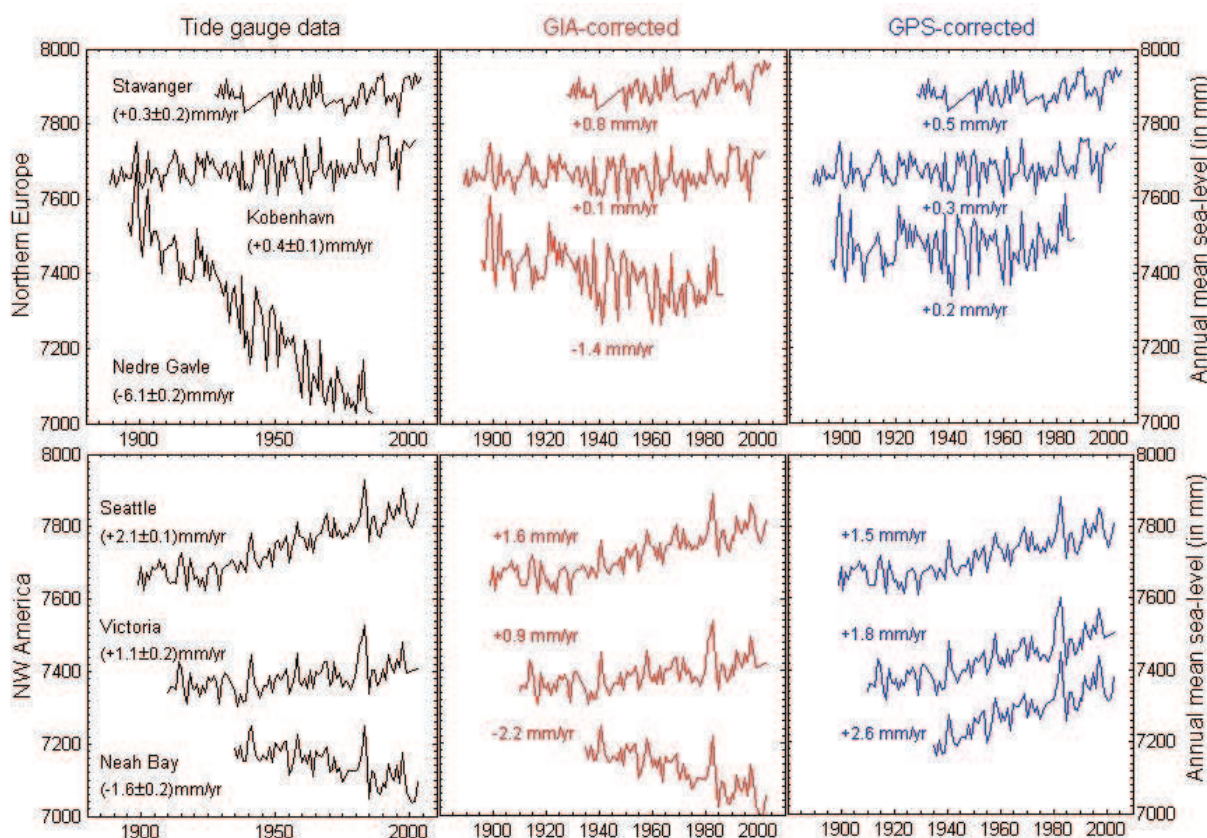


Fig5 : Séries temporelles de valeurs moyennes annuelles du niveau marin issues: i) de marégraphes (panneaux de gauche); ii) de marégraphes corrigés du GIA (au centre); et iii) de marégraphes corrigés avec des résultats GPS (à droite); en Europe du Nord (panneaux du haut) et en Amérique du Nord-Ouest (panneaux inférieurs). Chaque série est représentée avec un décalage constant et arbitraire (unités en mm). D'après Wöppelmann et al. (2007).

Cette réduction de la dispersion des tendances est également toujours au moins aussi importante que celle apportée par la correction de Peltier (2004) avec les modèles ICE-5Gv1.2 et VM4. A titre d'exercice de comparaison, Wöppelmann et al. (2007) ont également calculé la tendance globale du niveau des mers suivant les règles de Douglas (2001) ; ce dernier obtenait 1.84 ± 0.35 mm/an après correction de l'effet GIA (Peltier, 2001). Le calcul donne 1.31 ± 0.30 mm/an, une valeur qui est très cohérente avec les contributions climatiques obtenues par Mitrovica et al. (2006) et par Antonov et al. (2005) sur les 50-100 dernières années: 1.4 mm/an (1 mm/an de la fonte des réservoirs de glace continentaux et 0.4 mm/an de la dilatation thermique des océans).

Conclusions

Fruit du dynamisme de quelques chercheurs, soutenus par le SHOM et l'IGN, en particulier à travers le GRGS, il n'est en revanche pas celui d'une détermination scientifique objective reflétant une attitude nationale. Une demande de labellisation du service d'observation SONEL a été déposée auprès de l'INSU fin 2006 pour remédier à cette situation. Elle donnera peut-être enfin les moyens de tenir un rôle à la mesure du potentiel de la France dans les programmes d'observation du niveau marin liés aux changements climatiques.

Des premiers résultats intéressants d'ordre méthodologique ont été obtenus sur les technologies modernes de marégraphie. Ils devraient se poursuivre et être alimentés par des études détaillées, notamment visant à identifier des causes des erreurs systématiques, et par l'accumulation de mesures de contrôles 'in situ'. Une question importante est aujourd'hui soulevée par la qualité des quelques 15 ans d'observations obtenues par les marégraphes acoustiques. Le site de Brest apportera probablement des éléments de réponse grâce à la co-localisation d'un marégraphe radar et d'un marégraphe acoustique.

Le colloque SONEL qui s'est tenu en avril 2006 a montré, s'il était encore nécessaire, que livrer les observations aux chercheurs est probablement le contrôle qualité le plus exigeant auquel on puisse les soumettre. Il a souligné le patrimoine inestimable d'observations historiques qui existe en France et pour lequel une opération de sauvetage devrait être entreprise, complétée par des installations de nouveau matériel. Cela concerne en particulier Saint Malo, Toulon, Cherbourg, Fort Enet et Fort Boyard.

Participants au projet

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

Bernard SIMON, Responsable expérience 'Niveau des mers et marégraphie' (SHOM)

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

Hervé FAGARD, Ingénieur (IGN)

Laurent TESTUT, Physicien adjoint (LEGOS)

Philippe TECHINE, Ingénieur (LEGOS)

Belén MARTIN MIGUEZ, Ingénieur sur contrat CDD du GRGS/SHOM

Lucia PINEAU-GUILLOU, Ingénieur (GRGS/SHOM)

Ronan CREACH remplaçant Ronan LE ROY, Ingénieur (GRGS/SHOM)

Michel LE GOFF, Ingénieur (GRGS/SHOM)

François LUCAS, Technicien (GRGS/SHOM)

Nicolas POUVREAU, Doctorant (Université La Rochelle)

Pascal TIPHANEAU, Technicien (Université La Rochelle)

Références bibliographiques

- S. Allain, 2005, Du rôle du SHOM dans la coordination nationale des systèmes d'observation du niveau de la mer, Document N° 478 SHOM/EG/NP, 21 décembre 2005.
- H. Fagard, 2006, Twenty years of evolution for the DORIS permanent network: from its initial deployment to its renovation, *J. Geodesy*, 80, 429-456.
- 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*, Accepted March 29, 2007.
- B. Martin Miguez, L. Testut, G. Wöppelmann, submitted, The van de Castele test revisited: an efficient approach to tide gauge error characterization, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technologies*, Submitted September 2006.
- N. Pouvreau, B. Simon, G. Wöppelmann, 2006, Evolution of the tidal semi-diurnal constituent M2 at Brest from 1846 to 2005, *C.R. Geoscience*, 338, 802-808.
- L. Testut, G. Wöppelmann, B. Simon, P. Téchiné, 2006, The sea level at Port-aux-Français, Kerguelen Island, from 1948 to the present, *Ocean Dynamics*, 56 (5-6), 464-472.
- P. Tiphaneau et B. Martin Miguez, 2006a, Contrôle des deux marégraphes SBE26 dans l'anse Calvo, Marseille, 16-17 janvier 2006, Rapport CLDG No. 001/06, 11 pp.
- P. Tiphaneau, 2006a, Reconnaissance géodésique au marégraphe de Concarneau, le 11 septembre 2006, Rapport CLDG No. 007/06, 11 pp.
- P. Tiphaneau, 2006b, Reconnaissance géodésique au marégraphe du Crouesty, le 12 septembre 2006, Rapport CLDG No. 008/06, 7 pp.
- P. Tiphaneau et B. Martin Miguez, 2006b, Fin de l'expérience avec deux marégraphes SBE26 dans l'anse Calvo, Marseille, 16-17 mars 2006, Rapport CLDG No. 003/06, 11 pp.
- P. Tiphaneau et G. Wöppelmann, 2006, Installation d'un récepteur GPS provisoire de dépannage au marégraphe de Brest (Station BRST, RGP/EUREF/IGS), 25-26 juillet 2006, Rapport CLDG No. 005/06, 9 pp.
- G. Wöppelmann, 2006, Demande de labellisation INSU pour SONEL - Système d'Observation du Niveau des Eaux Littorales, Dossier étendu soumis à l'INSU en décembre 2006, 10 pp.
- G. Wöppelmann, B. Martin Miguez, M. Marcos, 2005, Installation de deux marégraphes SBE26 dans l'Anse Calvo, Marseille, le 24 octobre 2005, Rapport CLDG No. 001/05, 15 pp.
- G. Wöppelmann, M-N. Bouin, Z. Altamimi, 2005. Learning from TIGA global GPS analysis at ULR consortium. Paper presented at the ESEAS Workshop on *Observing and Understanding Sea Level Variations*, Malta, 1-5 November 2004, Rapport CLDG No. 006/06, 10 pp.
- G. Wöppelmann, N. Pouvreau, B. Simon, 2006, Brest sea level record: a time series construction back to the early eighteenth century, *Ocean Dynamics*, 56 (5-6), 487-497.
- G. Wöppelmann, B. Martin Miguez, M-N. Bouin, Z. Altamimi, 2007, Geocentric sea-level trend estimates from GPS analyses at relevant tide gauges world-wide, *Global and Planetary Change*, doi: 10.1016/j.gloplacha.2007.02.002.