

SUIVI DU NIVEAU MOYEN DE LA MER PAR MAREGRAPHE ET GPS *

G. Woppelmann SHOM
B. Simon SHOM
C. Boucher IGN

RESUME

L'objet de cet article est l'évolution à long terme du niveau des mers, loin du fond sonore médiatique qui prédit des catastrophes planétaires, avec réchauffement et effets de serre, hausse diabolique du niveau des océans.

Mais la question de l'élévation récente de ce niveau n'est cependant pas simple, et la marégraphie s'y pointe bien sûr au premier plan pour analyser les mesures.

Après les informations et les scoops, écoutez les scientifiques nous remettre les choses à niveau. .

ABSTRACT

The object of this article is the long term evolution of the sea level, far from media background noise that predicts global disasters, with warming, greenhouse effects and diabolic rise of the ocean level .

However, the question of the recent elevation of this level is not simple, and the tide gauge itself turned up to the first plan to analyse measures.

After information and scoops, listen to scientists to put back us things to level

INTRODUCTION

Force est de constater que la marégraphie n'est pas devenue un simple outil de calibration comme d'aucuns le prédisaient avec l'avènement de l'altimétrie radar embarquée sur satellite. La marégraphie apparaît clairement comme une technique complémentaire par la nature même de ses mesures, côtières ou de grands fonds, à échantillonnage temporel élevé, couvrant de longues périodes de temps, parfois séculaires.

Les marégraphes sont de fait un moyen indépendant de vérifier la conformité des conséquences des théories de l'océanographie avec l'observation. Cela est vrai de manière générale, quelle que soit l'origine de ces théories, mais il faut reconnaître que l'altimétrie radar a fortement contribué à l'amélioration de nos connaissances en océanographie ces dernières années. Aussi, le caractère indépendant de la mesure des marégraphes revêt une importance particulière pour valider ces nouvelles connaissances.

Le terme de marégraphe est souvent associé à tort à la fonction de mesure de la marée, alors qu'en réalité il mesure des hauteurs d'eau dont l'exploitation sert effectivement à l'étude, à la détermination et à la prédiction de la marée. Mais, nombreux sont les processus physiques, autres que la marée, qui affectent le niveau de la mer. Il convient donc plutôt de se rappeler que "mare", signifie mer en latin.

Le succès actuel de la marégraphie ne se réduit pas aux seules applications scientifiques ; loin s'en faut pour entraîner les administrations américaines, australiennes, françaises ou autres, dans des programmes de renouvellement de leur réseau d'observation. Aussi, comment expliquer les demandes des ports autonomes ou des Phares et Balises, si ce n'est par l'existence d'applications pratiques bien identifiées. Une part importante de l'engouement actuel est liée aux progrès technologiques récents en instrumentation et en réseaux de communication qui permettent de collecter les données sous forme numérique, à distance et en temps réel.

* Article publié dans le N° 83 de XYZ, repris ici avec l'aimable autorisation de la rédaction.

Il convient de remarquer cependant que nombre de besoins requièrent une observation géodésique complémentaire, plus ou moins précise, pour surveiller la stabilité de la référence des hauteurs d'eau et pour rattacher les résultats dans une référence unifiée, légale, nationale ou mondiale. L'exemple le plus notoire d'application scientifique est l'évolution à long terme du niveau des mers. Ce sera l'objet de notre article, mais il existe d'autres applications plus pratiques qui requièrent ce complément géodésique. Le numéro 79 de la revue XYZ en décrivait justement une : la détermination du zéro hydrographique dans un système de référence terrestre mondial.

CONTEXTE SCIENTIFIQUE ET INTERNATIONAL

Quelques chiffres

Le tableau 1 donne les prévisions d'évolution du niveau moyen de la mer pour le prochain siècle. Ces prévisions sont issues du deuxième rapport produit par l'IPCC en 1995. Le précédent remonte à 1990. L'IPCC est un panel intergouvernemental sur le changement climatique établi en 1988 par le Programme des Nations Unies pour l'Environnement et par l'organisation Météorologique Mondiale. Son rôle est de résumer l'état actuel des connaissances et d'apporter les informations nécessaires, d'ordre scientifiques, techniques et socio-économiques, pour comprendre les risques que comportent les changements climatiques d'origine anthropique.

Année	2020	2040	2100
Prévision basse	2.9 cm 1 mm/an	5.7 cm 1.1 mm/an	13 cm 1.2 mm/an
Prévision moyenne	8.6 cm 2.9 mm/an	18.6 cm 3.7 mm/an	55 cm 5 mm/an
Prévision haute	18.6 cm 6.2 mm/an	38.6 cm 7.7 mm/an	110 cm 10 mm/an

Tableau 1 : Prévisions de l'élévation du niveau des mers, estimées par les modèles climatiques suivant divers scénarios d'émission en gaz à effet de serre, d'après l'IPCC (1995). Les vitesses correspondent à la variation par rapport à 1990.

Le rapport de l'IPCC [1995] revoit les prévisions de changement du niveau des mers à la lueur des dernières améliorations apportées aux modèles climatiques. Ces améliorations résultent surtout d'une meilleure compréhension du rôle de l'océan et du couplage entre ce dernier et l'atmosphère. Les prévisions varient suivant les modèles considérés et suivant les scénarios d'émission en gaz à effet de serre pris en compte. Le tableau donne les valeurs extrêmes et moyennes. On observe une accélération des tendances à partir de 2015-2020, auparavant l'élévation reste sensiblement linéaire.

Il est intéressant de noter que les conséquences les plus sévères d'une élévation du niveau de la mer de cinquante centimètres ne viendraient pas de l'inondation des terres peu élevées, mais d'effets indirects. Par exemple, la fréquence de retour des ondes de tempêtes et des niveaux extrêmes exceptionnels augmenterait considérablement, passant de 50 ans aujourd'hui à 15-20 ans dans les nouvelles conditions de niveau moyen de la mer.

Le deuxième tableau résume les différentes contributions aux variations générales du niveau de la mer. Si l'on considère que la forme du contenant reste inchangée - hypothèse raisonnable à l'échelle de temps séculaire - le niveau moyen des océans dépend :

1. de la quantité d'eau (fonte / accumulation d'eau sur les continents)
2. et du volume occupé par cette eau (effet de changement de densité ou effet stérique)

Contribution	Estimation basse	Estimation moyenne	Estimation haute
Dilatation thermique	2 cm	4 cm	7 cm
Glaciers	2 cm	3.5 cm	5 cm
Groenland	-4 cm	0 cm	4 cm
Antarctique	-14 cm	0 cm	14 cm
Réservoirs d'eau terrestres	-5 cm	0.5 cm	7 cm
TOTAL	-19 cm	8 cm	37 cm

Tableau 2 : Estimations des différentes contributions à l'élévation actuelle du niveau des mers, d'après l'IPCC (1995).

Les valeurs indiquées dans ce tableau proviennent également du deuxième rapport de l'IPCC. Elles illustrent l'état actuel des connaissances et les incertitudes sur l'origine de la variation séculaire passée du niveau marin. Cette variation est estimée entre 10 et 20 cm sur ce dernier siècle.

D'où viennent les estimations d'élévation récente du niveau des mers ?

Les estimations d'élévation récente du niveau général de la mer proviennent de l'analyse des séries temporelles de marégraphie disponibles au PSMSL, Service international du niveau moyen de la mer, qui collecte depuis 1933 les moyennes mensuelles et annuelles des marégraphes. La figure 1 représente deux échantillons des séries temporelles en question. Il s'agit de deux séries de valeurs annuelles du niveau de la mer à Brest et dans un observatoire de la mer Baltique (Varberg). Soulignons que Brest dispose de la plus longue série de mesures de hauteur d'eau dans le monde.

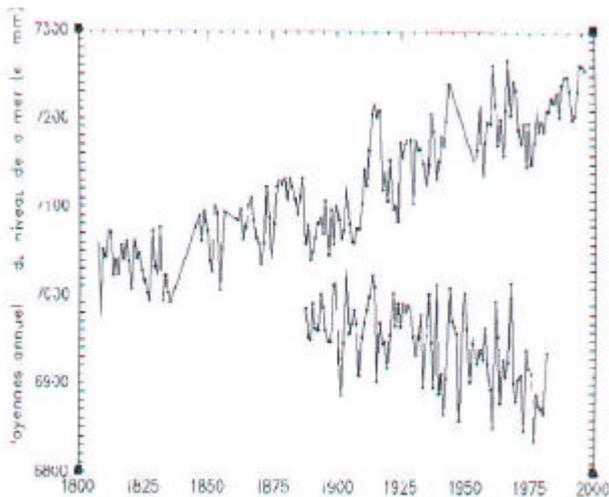


Figure 1 : Séries marégraphiques de niveaux moyens annuels de la mer.

Les hauteurs d'eau sont exprimées en millimètres sur ce graphique. Les tendances se dégagent assez nettement des marégraphes centenaires. Elles sont de 1.2 mm/an à Brest et de -1 mm/an dans la station de la mer Baltique, affectée par un mouvement vertical du socle dû au rebond post-glaciaire. On remarque cependant la variabilité inter annuelle et inter décennale relativement importante dans les deux enregistrements, de l'ordre de la dizaine de centimètres. Par ailleurs, on remarque aussi des tendances contradictoires, non seulement entre les deux stations, mais également en une même station sur des périodes différentes de vingt à trente ans. Cet dernier constat conduit à une réduction importante du nombre de séries utiles. En général, des séries temporelles d'au moins cinquante ans sont nécessaires. Cette contrainte entraîne de fait une couverture spatiale fortement biaisée vers l'hémisphère nord.

Les stratégies d'estimation

Les différents chercheurs qui se sont penchés sur l'estimation d'une évolution récente du niveau général de la mer ont dû affronter les différentes contraintes rappelées ici, liées aux données de marégraphie. Si les premières études considéraient toutes les séries possibles d'au moins dix ans, afin de bénéficier de la meilleure couverture spatiale possible et de s'affranchir des mouvements verticaux en supposant qu'ils se compenseraient dans la moyenne, il est vite apparu que cela n'avait pas beaucoup de sens. D'abord, nous avons vu l'importance des signaux décennaux et interdécennaux. Ensuite, nombre de géologues affirment que près des côtes dominent les phénomènes de subsidence : sédimentation, pompes de fluides, tassements, etc. [Pirazzoli, 1996].

Les contraintes de longueur minimale des séries temporelles à prendre en considération varient selon les études, de 40 à 70 ans, sachant que ce choix se fait au détriment du nombre et de la répartition spatiale des données, donc de la prise en compte de l'effet stérique.

La correction des mouvements verticaux du support du marégraphe est certainement le point le plus délicat encore aujourd'hui. On dispose de modèles pour le rebond postglaciaire, mais les corrections sont trop sensibles, au niveau de précision considéré ici, le mm/an, aux choix des paramètres du modèle de terre et au modèle de déglaciation utilisé. Sans tenir compte du fait que les autres mouvements verticaux sont toujours ignorés.

Le concept de côte stable est alors apparu explicitement [Emery & Aubrey, 1991]. Il repose sur des observations géologiques locales. Mais ces données témoignent d'un passé souvent très éloigné de la période considérée. Certains mouvements peuvent ne plus être d'actualité. D'autres sont peut-être apparus depuis. En particulier, les effets d'affaissement des constructions ou de tassements, suite à l'extraction de fluides, ne sont certainement pas négligeables près des côtes sur les derniers cent ans.

En résumé, la question de l'élévation récente du niveau de la mer n'est pas simple. Il est intéressant de remarquer sur le tableau suivant que notre connaissance du problème était déjà bien résumée en 1935 par un ancien directeur du Nivellement Général de la France, Monsieur Vignal, qui réalisa une étude des séries temporelles marégraphiques disponibles à l'époque autour de la Méditerranée.

N°	Auteurs	Résultats (mm/an)	N°	Auteurs	Résultats (mm/an)
1	Vignal (1935)	1 à 2	11	Aubrey (1985)	0 à 3
2	Outenburg (1941)	1.1 ± 0.8	12	Gornitz & Lebedeff (1987)	1.2 ± 0.3
3	Kuonen (1950)	1.2 à 1.4	13	Barnett (1988)	1.15
4	Lisitzin (1974)	1.1 ± 0.4	14	Trupin & Wahr (1990)	1.75 ± 0.13
5	Fairbridge & Krebs (1962)	1.2	15	Gornitz & Seeber (1990)	1.26 ± 0.78
6	Emery (1980)	3	16	Peltier & Tushingham (1991)	2.4 ± 0.9
7	Gornitz et al (1982)	1.2	17	Emery & Aubrey (1991)	0.8
8	Klige (1982)	1.5	18	Douglas (1991)	1.8 ± 0.1
9	Barnett (1983)	1.54 ± 0.15	19	Nitrović & Davis (1991)	1.5 ± 0.3
10	Barnett (1984)	1.4 ± 0.14	20	Wöppelmann (1997)	1.6 ± 0.3

Tableau 3 : Estimations de l'évolution séculaire récente du niveau des mers.

Vignal estimait déjà une élévation du niveau général de la mer de l'ordre du millimètre par an.

Il constatait que cette élévation variait très sensiblement et irrégulièrement d'un port à l'autre, remarquant aussi l'abaissement dans certains ports. En outre, il appréhendait déjà correctement la nature du signal délivré par les marégraphes, ainsi que les incertitudes associées : "[...] quand bien même certains appareils marémétriques dénoteraient un mouvement ascensionnel non périodique incontestable du niveau moyen de la mer, cette ascension pourrait tenir, non à une véritable montée des eaux par rapport au socle continental, mais simplement à un affaissement très localisé d'une étroite bande côtière" [Vignal, 1935].

Le fait que, plus de soixante ans après, nous ne cernions pas mieux la question, vient du manque d'informations complémentaires nécessaires à la marégraphie pour mesurer et corriger les mouvements verticaux présents dans ses données. Les estimations actuelles sont approximativement les mêmes 60 ans après. Cela confirmerait la tendance linéaire du marégraphe de Brest. Aucune accélération n'est en effet visible dans cette série de données qui débute avant l'ère industrielle, contredisant donc, en apparence, le lien entre élévation du niveau de la mer et réchauffement climatique d'origine anthropique.

SYSTÈMES D'OBSERVATION

Face aux incertitudes évoquées, la Commission Océanographique Intergouvernementale a démarré en 1985 un programme d'observation du niveau des mers appelé GLOSS. Fondé sur un réseau mondial de stations de marégraphie, ce réseau a été conçu idéalement par un groupe d'experts internationaux, le groupe d'experts GLOSS, pour répondre à des applications scientifiques.

Il s'appuie pour une grande partie sur des marégraphe existants. La carte de la figure 2 montre la couverture du réseau GLOSS tel qu'il est défini aujourd'hui, depuis les dernières modifications apportées en 1997.

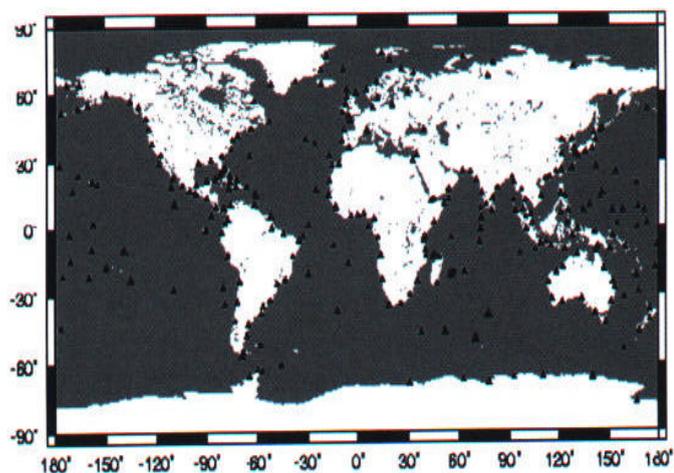


Figure 2 : répartition des marégraphe GLOSS.

Le réseau comporte 287 stations autour desquelles s'articulent des réseaux régionaux. Trois pôles d'intérêt scientifique regroupent les stations :

- . GLOSS-LTT, pour l'étude des tendances à long terme du niveau des mers;
- . GLOSS-ALT, pour la calibration des altimètres radar embarqués sur satellite;
- . GLOSS-OC, pour la surveillance de la circulation générale des océans
- . GLOSS comprend par ailleurs un réseau de contacts et de représentants nationaux. Ce sont eux qui assurent l'adéquation entre le réseau idéal et sa réalisation pratique. Aussi, ont-ils proposé, puis validé, les contributions concernant les marégraphe qui se trouvent sous la responsabilité des organismes de leur pays.

Les critères de qualité GLOSS

Le programme mondial GLOSS a établi un certain nombre de critères pour assurer la qualité des stations qui contribuent à son réseau. Ils sont résumés ici :

- . la mise en place de marégraphe modernes de précision instrumentale d'ordre scientifique, munis de centrales d'acquisition numériques ; ceci permet l'exploitation et la diffusion des observations par les moyens informatiques.
 - . la maintenance et le contrôle du fonctionnement et des performances des marégraphe, notamment par étalonnages et opérations de nivellement annuels;
 - . la surveillance géodésique de la référence des marégraphe par techniques spatiales telles que GPS ou DORIS;
 - . l'accès et la diffusion des données dans des délais compatibles avec les besoins des utilisateurs.
- Ces critères, établis il y a maintenant dix ans, sont encore d'actualité bien qu'ils puissent encore évoluer à la lueur des résultats et des recommandations des groupes de travail internationaux.

La surveillance géodésique

La surveillance géodésique des marégraphe concerne surtout les composantes GLOSS-LTT et GLOSS-ALT. En ce qui concerne la première application, nous avons vu que l'on s'intéresse à des signaux ténus, de l'ordre du mm/an. Il est donc essentiel de réaliser une surveillance rigoureuse de la stabilité de la référence des mesures de ces marégraphe.

D'une part, la référence interne de ces marégraphe doit être déterminée et contrôlée par étalonnages réguliers par rapport à un repère matériel proche, appelé repère de marée. D'autre part, les mouvements verticaux des repères de marée doivent être surveillés en local et, surtout, dans un système de référence terrestre mondial de qualité suffisante. Rappelons que l'on cherche à mettre en évidence des variations de l'ordre du mm/an.

La figure 3 illustre les principaux éléments intervenant dans le processus de surveillance synergique du niveau de la mer par géodésie et marégraphie. Les techniques de nivellement sont souvent nécessaires pour faire la liaison entre repères de marée et repères de géodésie spatiale. Les repères de marée sont en effet rarement adaptés à l'observation directe par des instruments de géodésie spatiale.

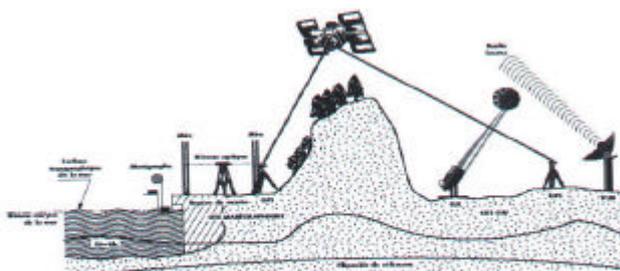


Figure 3 : principe du rattachement géodésique des marégraphe dans un système géodésique mondial (illustration A. Pasquier).

il est intéressant de noter l'évolution des idées sur la stratégie d'observation à mettre en œuvre en géodésie spatiale. Il y a une dizaine d'années, la communauté scientifique s'est engagée dans une stratégie d'observation par campagnes de quelques jours, à répéter annuellement sur dix-vingt ans. Aujourd'hui, l'idée est plutôt de réaliser une surveillance continue par des instruments permanents. Celle-ci s'avère moins coûteuse, notamment par GPS, compte tenu des coûts plus raisonnables aujourd'hui des récepteurs et antennes GPS.

L'avantage d'une surveillance continue est certaine pour les sites éloignés. Il est aussi d'obtenir des résultats plus tôt en évitant les phénomènes de sous-échantillonnage des signaux qui peuvent affecter le positionnement sur la composante verticale. Par analogie rappelons que les marégraphes ne donnent des tendances du niveau relatif de la mer précises qu'au bout d'environ 50 ans.

CONTRIBUTION FRANÇAISE

La France participe au réseau GLOSS par quinze stations, représentées par des triangles dans la figure 2. Elles sont réparties sur l'ensemble du globe. Il s'agit de Brest (242), Cayenne (202), Clipperton (165), Crozet (21), Dumont d'Urville (131), Dzaoudzi (96), Kerguelen (23), Le Robert (204), Marseille (205), Nouméa (123), Nuku Hiva (142), Papeete (140), Pte des Galets (17), Rikitea (138) et Saint-Paul (24). Les chiffres entre parenthèses représentent le numéro GLOSS du marégraphe. Il faut savoir que GLOSS n'a pas de moyens propres pour développer un tel réseau d'observation de près de 300 marégraphes, qu'il convient d'ailleurs de densifier pour mieux appréhender les structures méso-échelles de l'océan. L'objet de GLOSS est de coordonner les ressources et les efforts de chacun au niveau mondial. Son succès repose sur le volontariat des pays et des organismes nationaux.

Dans ces conditions, on voit bien qu'en définitive le succès de GLOSS repose aussi sur un effort analogue de coordination à l'échelle nationale. C'est dans cette optique que l'institut Géographique National (IGN) et le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM) ont démarré le développement du projet SONEL : Système d'observation du Niveau des Eaux Littorales.

Le projet SONEL

SONEL s'appuie sur les ressources nationales en matière de marégraphie et de géodésie. L'objet est d'organiser de manière raisonnée et rationnelle les ressources et les efforts nationaux pour mesurer le niveau de la mer dans un ensemble d'observatoires côtiers, et surveiller l'évolution de ce paramètre dans des référentiels local et mondial. C'est aussi de servir d'interface avec l'étranger, notamment dans les projets européens et mondiaux tels que GLOSS, ou encore dans les échanges avec les centres de données internationaux tels que le PSMSL.

SONEL n'a pas à proprement parler de réseau d'observatoires. Il constitue à ce propos un réseau virtuel fédérant des réseaux d'observation indépendants sous la responsabilité d'organismes partenaires.

Ces derniers peuvent trouver dans SONEL une diffusion et une valorisation complémentaires de leurs données, tout autant qu'un soutien scientifique et technique pour contrôler la qualité des observatoires et, le cas échéant, contribuer à leur mise à niveau.

SONEL repose donc sur des réseaux de marégraphie et de géodésie existants ou en cours de développement, tels que RONIM, un réseau de marégraphes modernes numériques en cours de développement par le SHOM avec le partenariat des DDE, des Ports Autonomes et d'organismes divers et scientifiques [Allain, 1998]; le RGF réseau GPS permanent en métropole, également en cours de déploiement, par l'IGN, avec de nombreux partenaires [Boucher, 1999j; le réseau de balises DORIS déployées sur l'ensemble du globe par l'IGN et le CNES [Willis, 1997], etc.

L'élément central de SONEL est une base de données mixte de produits issus de la marégraphie et de la géodésie spatiale. Le système prévoit de collecter les données de chacun des maillons du processus de rattachement des marégraphes décrit dans la figure 3. Il offrira notamment des données de niveau moyen de la mer exprimées aussi bien dans un repère local que dans une référence géodésique mondiale.

Stations pilotes de Brest et de Marseille

Les marégraphes de Brest et de Marseille sont des stations pilotes importantes du projet SONEL, comme le souligne la recommandation de l'assemblée générale du Comité National Français de Géodésie et Géophysique, le 6 février 1996. L'IGN et le SHOM les ont équipés du matériel nécessaire pour leur mise à niveau suivant les critères du réseau mondial GLOSS.

Marseille dispose depuis juin 1998 d'un marégraphe moderne de type acoustique semblable à celui de Brest. La surveillance géodésique des deux marégraphes se fait par récepteur GPS permanent : celui de Marseille est en place depuis juillet 1998 et celui de Brest depuis octobre 1998. Les observations GPS de ces deux stations sont désormais collectées, puis traitées en routine dans le réseau GPS national RGP.

L'analyse préliminaire des résultats GPS fournis par le laboratoire LA REG de l'IGN montre que la composante verticale est trois à six fois moins bien déterminée que les composantes horizontales. Ce résultat ne surprend pas, il peut s'expliquer par la configuration du système GPS et par les nombreuses sources d'erreur qui affectent a priori cette composante : propagation des ondes radioélectriques dans l'atmosphère, caractéristiques et variations du centre de phase des antennes GPS, stabilité des monumentations, réalisations du système de référence, etc. L'amplitude des effets dépend néanmoins du site et de son environnement comme l'illustrent les courbes de la figure 4.

Les résultats de la figure 4 proviennent des solutions GPS hebdomadaires calculées en réseau libre par l'équipe RGP du LAREG (D. Maillard et P. Nicolon). Ces solutions sont des jeux de positions issues du traitement des mesures GPS enregistrées dans les stations françaises du RGP et dans quelques stations européennes voisines du réseau permanent EUREF.

En raison du calcul en réseau libre, qui optimise la cohérence interne des résultats, chaque jeu se trouve exprimé dans un repère qui lui est propre. Une combinaison de toutes ces solutions hebdomadaires suivant les modèles appliqués dans la section terrestre du Service international de la rotation terrestre (IERS) permet l'expression des positions dans un repère de référence unique [Altamimi, 1997]. Il est ensuite aisé de transformer ce repère "moyen" dans le repère de notre choix, ici l'ITRF97, dernière réalisation disponible du repère terrestre international [Boucher et al, 1999].

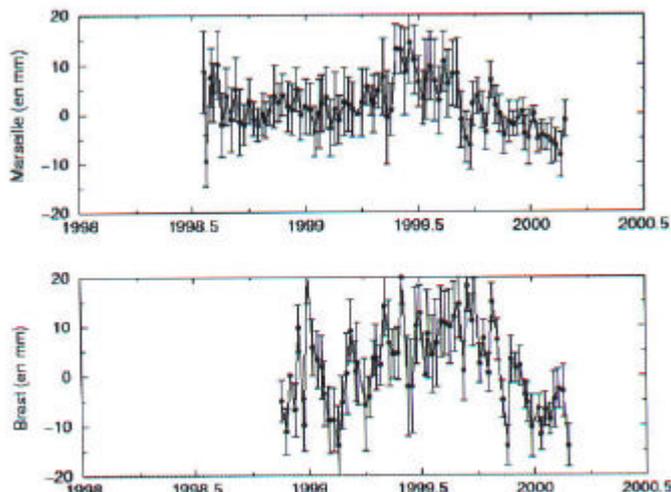


Figure 4 : Résultats sur la composante verticale des stations GPS de Brest et Marseille, en millimètres (communication personnelle Z. Altamimi, IGN).

La figure 4 représente les écarts de chaque solution hebdomadaire transformée avec la solution "moyenne". Les pentes ont été retirées dans le processus de combinaison. Les incertitudes sur les tendances sont encore trop importantes par rapport à celles qui sont indiquées par les marégraphes, d'un facteur dix environ, soit de l'ordre du mm/an. Rappelons cependant que les mesures GPS sont récentes et trop brèves pour fournir des résultats clairs et significatifs. Il est donc encore difficile de les interpréter comme des mouvements réels de l'écorce terrestre et donc de les utiliser pour corriger les tendances du niveau de la mer indiquées par les marégraphes.

PERSPECTIVES

Les stations GPS permanentes de Brest et de Marseille sont motivées par l'existence des séries temporelles historiques de marégraphie et leur grand intérêt scientifique. Une nouvelle station d'intérêt pour la communauté scientifique vient d'être équipée par l'IGN à Ajaccio. Le marégraphe devrait bientôt être installé par le SHOM.

Cette expérience corse est pilotée par P. Exertier de l'observatoire de la Côte d'Azur. Elle a pour objet la calibration du futur altimètre radar Jason-1

Les calculs GPS conduits dans le RGP se limitent à la France continentale et à la Corse. Mais nombreux sont les marégraphes d'intérêt pour la communauté française qui se trouvent ailleurs, répartis sur l'ensemble du globe.

Un calcul global est d'ores et déjà envisagé dans le cadre d'une expérience pilote avec le Service international GPS (IGS) pour atteindre la meilleure précision possible en cet ensemble de marégraphes équipés de GPS. La composante verticale du positionnement par GPS mérite une attention particulière lorsqu'on s'intéresse aux déplacements verticaux à la surface de la Terre et aux variations générales et à long terme du niveau de la mer. L'objet est de fournir un signal géodésique aussi pur que possible pour permettre une exploitation géophysique correcte en aval. Les premiers résultats de Brest montrent une allure singulière sur la composante verticale. Un effet de surcharge océanique de plusieurs centimètres a été mis en évidence (Llubes et al, soumis), mais il semble que le signal soit plus complexe encore. Des recherches sont en cours aujourd'hui pour mieux comprendre ce signal. Elles mettent notamment à profit le gravimètre absolu que la communauté scientifique nationale a acquis.

RÉFÉRENCES

- Allain [1998]** : "Observation systématique du niveau de la mer". Revue XYZ numéro 74 - 1er trimestre 1998, pp.71-76.
- Altamimi Z. [1997]** : "Analyse d'un logiciel de combinaison de positions et vitesses tridimensionnelles". Publication LAREG MM017, Mai 1997.
- Boucher C. [1999]** : "L'expérience pilote Réseau GPS Permanent (RGP)". Revue XYZ, Nr. 79, 2e trimestre 1999, pp. 21-24.
- Boucher C., Z. Altamimi & P. Sillard [1999]** : "The 1997 International Terrestrial Reference Frame (ITRF97)". IERS Technical Note 27, May 1999, 191 pp.
- COI [1997]** : "Global Sea Level Observing System (GLOSS): Implementation Plan - 1997". Commission Intergouvernementale Oceanographique de l'UNESCO, Technical Series 50.
- Emery K.O. & D.G. Aubrey [1991]** : "Sea levels, land levels, and tide gauges". Springer Verlag, 237 pp.
- Pirazzoli P. [1996]** : "Sea-level Changes - The last 20 000 Years". Chichester, Wiley 1996, 211 pp.
- IPCC [1995]** : "Climate Change 1995: The Science of Climate Change". Contribution of Working Group 1 to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press 1996, 572 pp.
- Vignal J. [1935]** : "Les changements du niveau moyen des mers le long des côtes en Méditerranée et dans le monde". Extrait des Annales des Ponts et Chaussées. Mémoires et Documents. Numéro d'octobre, 52 pp.
- Willis P. [1997]** : "Système DORIS, applications scientifiques". Revue XYZ numéro 73, 1997, pp. 67-74.
- Wöppelmann G. [1997]** : "Rattachement géodésique des marégraphes dans un système de référence mondial par techniques de géodésie spatiale". Thèse de Doctorat de l'observatoire de Paris, 23 juin 1997, 263 pp.
- Wöppelmann G., S. Allain, C. Boucher, L. Daniel et B. Simon [1999]** : "Présentation du Système d'observation du Niveau des Eaux Littorales - SONEL " Document SHOM-IGN, Version 1.0, mai 1999, 40 pp.