

3.2.5 Niveau des mers, Rattachements géodésiques et Marégraphie

Par Guy Wöppelmann

Contexte international

L'année 2003 a été marquée par la réunion du groupe d'experts du programme de surveillance du niveau de la mer GLOSS. Cette réunion s'est tenue en octobre 2003, à Paris, au siège de l'UNESCO. Le développement des réseaux français RONIM et ROSAME a été présenté à cette occasion [3,9], leurs performances revues, en particulier l'évolution des techniques vers le contrôle automatique des données et le temps réel [8]. L'état d'avancement des couplages entre marégraphes et stations permanentes GPS a été dressé [14]. Les difficultés rencontrées pour estimer les mouvements verticaux du sol à partir des techniques de géodésie spatiale, notamment du GPS, ont été discutées. Mais la question a surtout fait l'objet d'un workshop dédié sur la composante verticale GPS. Ce workshop était organisé par le Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie (Luxembourg). Nous y avons présenté les travaux réalisés par le consortium ULR (CLDG / LAREG) dans le cadre du projet pilote TIGA du service international GPS [16]. Nos travaux ont surtout porté sur la réalisation et la stabilité du système de référence dans les solutions temporelles TIGA calculées par ce consortium [1]. Déterminer des vitesses verticales avec une exactitude meilleure que le millimètre par an dans un repère terrestre demeure un enjeu majeur. Des progrès sont encore nécessaires, aussi bien sur les phénomènes géophysiques (propagation des signaux radioélectriques dans la troposphère, effet de charge atmosphérique, variations des nappes phréatiques) que physiques (variations des centres de phase des antennes) et géodésiques (réalisation et stabilité du repère terrestre). L'IGS a d'ailleurs décidé d'étendre la phase pilote du projet TIGA de deux ans lors de l'AGU de San Francisco.

Stations en France

Les techniques radar ont permis d'envisager, puis d'installer, le 17 décembre 2003, un marégraphe côtier numérique permanent à Saint-Malo où le marnage est de près de 11 mètres par vive-eau. Cela porte à 20 le nombre de stations du réseau RONIM. Les données sont disponibles sur SONEL.

Le marégraphe GLOSS de Papeete est désormais surveillé de près par une antenne GPS permanente installée en juillet 2003 par le CNES et l'Observatoire Géodésique de Tahiti avec le soutien du GDR AGRET. Les données sont disponibles depuis octobre 2003 sur les serveurs de l'IGS, à l'IGN (centre global), ou à l'Université de La Rochelle (centre projet TIGA). L'acronyme de la station est PAPE.

Fort-de-France (Martinique) et Pointe-à-Pitre (Guadeloupe) figurent dans le programme GLOSS. Elles restent toutefois à équiper. Le SHOM vient enfin de trouver des partenaires sérieux pour l'installation des marégraphes côtiers numériques. Une reconnaissance sur place, en septembre 2003, a permis de définir l'implantation pratique. Les installations sont prévues en 2005. Mentionnons au passage les installations prochaines des marégraphes de Saint Jean-de-Luz et de Roscoff en 2004.

Patrimoine historique à grand intérêt scientifique

La numérisation des marégrammes de Marseille s'est achevée en 2001 (103 années de mesures couvrant la période février 1885 à juillet 1988). Une étude détaillée de la qualité des données numérisées vient d'être réalisée [5,6]. Elle compare les données numérisées, hauteurs d'eau horaires, aux données du dispositif totalisateur du marégraphe, moyennes mensuelles, objet de tous les soins et

de toutes les attentions au cours des décennies. Elle exploite également les outils de contrôle qualité fondés sur l'analyse de marée : comparaison des écarts entre observations et prédictions. La rigueur de ce travail a permis d'expliquer la plupart des différences observées entre les deux dispositifs d'enregistrement du marégraphe mécanique. L'écart-type des différences de niveau marin est de 1,2 cm. Une valeur remarquable si l'on se rappelle que le rapport de réduction des marégrammes est de 1/10^{ème}... L'étude des résidus de l'analyse de marée doit néanmoins se poursuivre. Elle permettra un contrôle fin des données horaires numérisées, et, peut-être, expliquera-t-elle les derniers écarts systématiques qui subsistent. Les données seront ensuite délivrées à travers SONEL.

Étalonnage des marégraphes

Le groupe d'experts GLOSS reconnaît que l'expérience acquise sur les capteurs radar est encore bien courte, et celle des marégraphes à ultrasons pas assez fouillée dans ses aspects stabilité sur plusieurs années. Des expériences sont en cours dans le cadre du service européen ESEAS [4]. Il convient donc de mener une politique sérieuse d'étalonnages systématiques des marégraphes français sur le terrain. Il s'agit tout d'abord d'accumuler des observations d'étalonnage qui permettront de réaliser des études particulières sur les défauts de chaque marégraphe, mais aussi qui permettront de mener à bien des études plus générales sur chaque type de marégraphe, de caractériser les erreurs systématiques, de comprendre leur origine et de surveiller leur évolution. Mentionnons qu'une expérience prometteuse vient de démarrer à Kerguelen (ROSAME) avec le concours des VAT. Une échelle de marée a été installée par le SHOM en janvier 2003 [7]. Elle a permis de caler le marégraphe et devrait permettre de suivre les performances de ce dernier : des VAT réalisent un étalonnage tous les mois par conditions de mer favorables. Expérience à suivre.

Rattachements géodésiques des marégraphes

Les tableaux suivants résument la situation à ce jour des rattachements réalisés par des organismes français sur les sites de marégraphie co-localisés avec des stations permanentes DORIS ou GPS. Sont soulignés dans les tableaux les opérations réalisées en 2003.

Marégraphe	DORIS depuis	Rattachement
Ascension (GLOSS 263)	28/02/1997	6,5 km – GPS (1997, <u>2003</u>)
Chatham Is. (128)	28/02/1999	1,2 km – GPS (Mars 1999)
Dumont d'Urville (131)	05/02/1987	500 m – GPS (2000, 2002)
Easter Island (137)	1988	5 km – GPS (Février 2001)
Kerguelen (023)	28/01/1987	3,3 km – GPS (Avril 2001)
Manille (073)	1991	9,7 km – GPS (<u>Février 2003</u>)
Nouméa (123)	20/10/1987	3,6 km – GPS (Avril 1998)
Papeete (140)	27/07/1995	7 km – GPS (Juillet 1995)
Ponta Delgada (245)	02/11/1998	1,5 km – GPS (1998, 2001)
Port Moresby	29/03/1988	6 km – GPS (Mars 2002)
Reykjavik (229)	04/07/1990	2,5 km – GPS (1997, 1999)
Sal, Cape Vert (329)	déc. 2002	7 km – GPS (2002)
St. Helena (264)	1987	6,5 km – GPS (<u>Mars 2003</u>)
Seychelles (273)	20/06/2001	300 m – GPS (Juin 2001)
Socorro (162)	09/06/1989	400 m – GPS (Mai 1998)
Thule, Groenland	28/09/2002	300 m – Nivelte (Sept. 2002)
Tristan da Cunha (266)	10/06/1986	2 km – GPS (Janvier 2002)

Les rattachements des marégraphes aux balises DORIS sont assurés par l'équipe de

maintenance du réseau DORIS de l'IGN, souvent lors des rénovations des balises [10,11,12]. La prise en compte de ce besoin est déjà un progrès considérable en attendant un programme ou un cadre national d'opérations dédiées plus systématiques et adaptées à l'environnement du site (géologie, socles support...). Ce manque de structure cadre se ressent davantage dans les rattachements avec les stations permanentes GPS comme en témoigne la synthèse du tableau ci-dessous.

Marégraphe	GPS depuis	Rattachement
Ajaccio	22/01/2000	500 m – GPS + Nivelte (2000)
Brest	31/10/1998	350 m – Nivelte (1999, 2002)
Dumont d'Urville	20/12/1997	500 m – GPS +Nivelte (2001)
Kerguelen	16/11/1994	3 km – GPS (1994, 1995, <u>2003</u>)
La Rochelle	23/11/2001	100 m – Nivelte (2001)
Marseille	16/07/1998	10 m – Nivelte (<u>1 fois / an</u>)
Nouméa, Chaleix	8/12/1997	3,6 km – GPS (1998)
Palmeira, Cap vert	29/04/2000	5 m – Nivellement (2002)
Papeete	07/2003	1 m – Nivellement (<u>2003</u>)

Mentionnons enfin la reconnaissance et les mesures GPS de rattachement réalisées pendant quelques jours à Crozet en décembre 2003. Ces travaux ont été réalisés dans l'esprit d'étudier les contraintes techniques pour l'installation d'une station GPS permanente qui permettrait de surveiller de manière continue le marégraphe GLOSS du réseau ROSAME qui s'y trouve.

Conclusion et perspectives

Les activités conduites dans cette thématique ont permis de progresser de façon notable dans le développement et l'intégration des différents éléments de SONEL [13]. Deux réunions du groupe *experts – utilisateurs* de SONEL, l'une en janvier et l'autre en novembre 2003, ont souligné le caractère structurant du système dans la problématique des variations climatiques du niveau marin. Des efforts restent bien entendu à accomplir dans l'archivage des données, dans la production des méta-données, et dans la diffusion. Rappelons toutefois que, grâce à SONEL, la France est le deuxième pays en Europe à diffuser les données horaires des marégraphes (depuis janvier 2003). Le premier étant le Royaume-Uni, la Norvège venant tout juste de rejoindre ce club encore trop restreint.

A présent il semble urgent de pérenniser l'infrastructure d'observatoire de recherche qui se crée autour de l'observation du niveau marin *in situ* en France. SONEL devrait se doter d'un cadre de légitimité et de reconnaissance qui lui permettrait de mettre en œuvre une politique d'observation systématique des rattachements géodésiques des marégraphes et des expériences d'étalonnage *in situ* des marégraphes. Autrement, nous resterons dans le bricolage et tous nos efforts resteront vains.

Remerciements

Il convient de remercier tout particulièrement le GRGS qui a concrètement soutenu, à travers la proposition « Niveau des mers », les nombreux déplacements des personnes des différents organismes du *consortium* SONEL. Ce soutien peut paraître modeste si on le compare aux investissements propres de chaque organisme, mais il est fédérateur et structurant, et par là très précieux.

Sigles

ESEAS *European Sea-level Service*

GLOSS	<i>Global Sea-Level Observing System</i>
IGS	<i>International GPS Service.</i>
MCN	<i>Marégraphe Côtier Numérique.</i>
RONIM	<i>Réseau d'Observatoires du Niveau de la Mer.</i>
ROSAME	<i>Réseau d'Observation Sub-antarctique et Antarctique du niveau de la MER.</i>
SONEL	<i>Système d'Observation du Niveau des Eaux Littorales.</i>

Publications

- [1] **Altamimi Z., G. Wöppelmann and M-N. Bouin** : « GPS Time Series and Terrestrial Reference Frame Issues ». GLOSS Experts Meeting No.8 Technical Workshop on *New Technical Developments in Sea and Land Level Observing Systems*, 14-16 October 2003, IOC, UNESCO.
- [2] **Lalancette M-F.** : « Experiments at Brest on GPS, tide gauges and AG ». GLOSS Experts Meeting No.8 Technical Workshop on *New Technical Developments in Sea and Land Level Observing Systems*, 14-16 October 2003, IOC, UNESCO.
- [3] **Le Roy R.** : « Comments on Van de Casteele tests performed in Brest and Le Conquet observatories ». GLOSS Experts Meeting No.8 Technical Workshop on *New Technical Developments in Sea and Land Level Observing Systems*, 14-16 October 2003, IOC, UNESCO.
- [4] **Martin B.** : « Comparisons of several technologies at the Spanish test site ». GLOSS Experts Meeting No.8 Technical Workshop on *New Technical Developments in Sea and Land Level Observing Systems*, 14-16 October 2003, IOC, UNESCO.
- [5] **Philippe V.** : « ». Mémoire de stage, projet de fin d'études de l'ENSAIS.
- [6] **Philippe V., G. Wöppelmann, P. Bonnetain, B. Simon et P. Sillard** : « La numérisation des marégrammes du marégraphe de Marseille : Premiers résultats ». Colloque du GDR G2, Paris, 12-14 Novembre 2003.
- [7] **SHOM** : Rapport particulier n°137 MHA du 10 juillet 2003.
- [8] **Téchiné P.** : « An automatic acquisition / quality control /fast delivery software for real time acquisition of the data coming from the ROSAME network ». GLOSS Experts Meeting No.8 Technical Workshop on *New Technical Developments in Sea and Land Level Observing Systems*, 14-16 October 2003, IOC, UNESCO.
- [9] **Testut L.** : « Pressure gauges in Kergulen, Crozet, St Paul and Dumont d'Urville : technical aspects and special needs ». GLOSS Experts Meeting No.8 Technical Workshop on *New Technical Developments in Sea and Land Level Observing Systems*, 14-16 October 2003, IOC, UNESCO.
- [10] **Vergez P.** : « Rénovation de la station DORIS de Manille (Philippines)– Février 2003 ». Rapport IGN/SGN CR/G173, décembre 2003.
- [11] **Vergez P.** : « Rénovation de la station DORIS de Sainte-Hélène (Royaume-Uni, Atlantique Sud) – Mars 2003 ». Rapport IGN CR/G 175, décembre 2003.
- [12] **Vergez P.** : « Rénovation de la station DORIS de l'île d'Ascension (Royaume-Uni, Atlantique Sud) – Mars 2003 ». Rapport technique IGN CR/G 176, décembre 2003.
- [13] **Wöppelmann G.** : Proposition Observatoire de Recherche en Environnement SONEL – Surveillance et interprétation des variations du niveau de la mer par marégraphie et géodésie spatiale, mars 2002, 20 pp.
- [14] **Wöppelmann G.** : « Status of GPS networks near to tide gauges and the IGS TIGA and ESEAS data archives ». GLOSS Experts Meeting No.8 Technical Workshop on *New Technical Developments in Sea and Land Level Observing Systems*, 14-16 October 2003, IOC, UNESCO.
- [15] **Wöppelmann G.** : « Global GPS analysis for geodetic tide gauge monitoring ». Journées Luxembourgeoises de Géodynamique 91th, 6-8 octobre 2003.
- [16] **Wöppelmann G., M-N. Bouin, Z. Altamimi, L. Daniel and S. McLellan** : « Current GPS data analysis at CLDG for the IGS TIGA Pilot Project ». Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, Proceedings of the workshop : *The state of GPS vertical positioning precision : Separation of earth processes by space geodesy*, ed T. van Dam, v. 23, 2004.