

## **4.2. Niveau des mers, Rattachements géodésiques et Marégraphie**

---

*Par Ronan Le Roy et Guy Wöppelmann*

### **Introduction**

Le point marquant de cette activité en France est probablement la mise à disposition des données horaires de marégraphie à travers SONEL (Système d'Observation du Niveau des Eaux Littorales), en temps très peu différé, une semaine après leur observation pour les données brutes. Aussi, malgré une absence de la France dans le réseau européen du niveau de la mer ESEAS remarquée par les rapporteurs de la Commission Européenne, nous nous plaçons parmi les premiers, avec le Royaume-Uni, à fournir un tel service. La malheureuse expérience de ESEAS souligne l'urgence de trouver un cadre légitime à SONEL, cadre qui permettrait de répondre aux appels d'offre. Elle souligne également le besoin de pérenniser l'infrastructure de recherche qui se construit autour de l'observation *in situ* du niveau marin.

Dans ce rapport triennal, nous détaillons bien entendu les progrès réalisés depuis un an dans le développement du système SONEL. Mais nous revenons également sur les fondements de ce système, motivation première de cette activité GRGS, à savoir les marégraphes, leur fonctionnement et leurs rattachements géodésiques.

### **I. Développement de SONEL**

Une chronologie brièvement commentée des événements marquants le développement de SONEL depuis un an et demi est donnée ci-dessous. Les événements sont étroitement liés à l'intégration d'un nouveau partenaire dans le projet, l'Université de La Rochelle, à travers son Centre Littoral de Géophysique, le CLDG.

#### **Eté 2001:**

- Proposition d'implantation du centre de données SONEL au CLDG.
- Accords de l'IGN et du SHOM pour cette implantation.

#### **Septembre 2001:**

- Aménagements salles machines et bureau à Chizé, partenariat CNRS
- Câblage du réseau informatique CLDG dans le réseau de Chizé.

#### **Octobre 2001:**

- Installations matérielle et logicielle à Chizé du serveur de données SONEL et de la machine de calculs GPS.

#### **Novembre 2001:**

- Installation d'une station GPS permanente sur le marégraphe radar de La Rochelle.

#### **Décembre 2001:**

- Réservation du nom de domaine *sonel.org*
- Mise en place des routages et adresses des machines sur Internet

#### Janvier - Mars 2002:

- Réunion SONEL à l'EPSHOM, Brest. Spécifications techniques du serveur SONEL [9]
- Demande de reconnaissance de SONEL comme O.R.E. (Observatoire de Recherche en Environnement), appel d'offre Ministère Recherche.
- Validation interne des procédures automatiques de collecte et de mise à disposition des données GPS et Marégraphes.
- Début des collectes journalières des observations GPS de plus de 120 stations GPS - Marégraphes dans le monde (contribution au projet pilote TIGA de l'IGS).
- Installation et tests des outils et procédures de sauvegardes.

#### Avril 2002:

- Début des collectes de données "historiques" GPS.
- Annonce dans TIGA du serveur *ftp.sonel.org* comme opérationnel
- Réunion SONEL au LEGOS, Toulouse. Définition des standards et des protocoles de collectes et de diffusion des niveaux marins en France [11]

#### Mai 2002:

- Reprise développement maquette du serveur <http://www.sonel.org>
- Extension de la capacité de stockage en ligne: installation et configuration de 400Go de disques durs en RAID5.
- Sécurisation de l'alimentation des équipements matériels.
- Mise a disposition des niveaux marins du réseau ROSAME sur SONEL.

#### Eté 2002:

- Installation des outils d'analyse des mesures et résultats GPS (GAMIT et CATREF).
- Définition des stratégies d'analyses GPS en réseau mondial.
- Début des calculs quotidiens GPS et des combinaisons hebdomadaires.

#### Octobre 2002:

- Annonce dans TIGA du centre de calculs GPS opérationnel

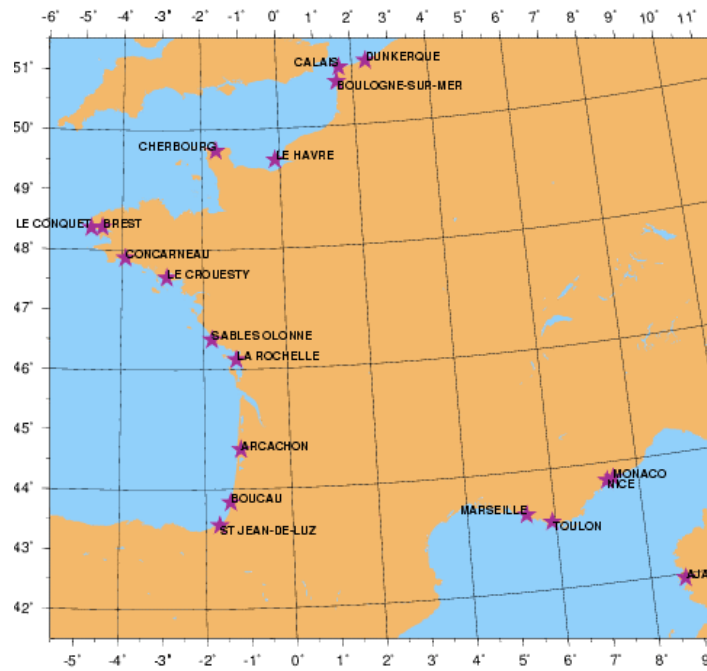
#### Novembre 2002:

- Mise a disposition en phase pilote des niveaux marins horaires de Ajaccio et de Marseille sur les serveurs SONEL

#### Décembre 2002:

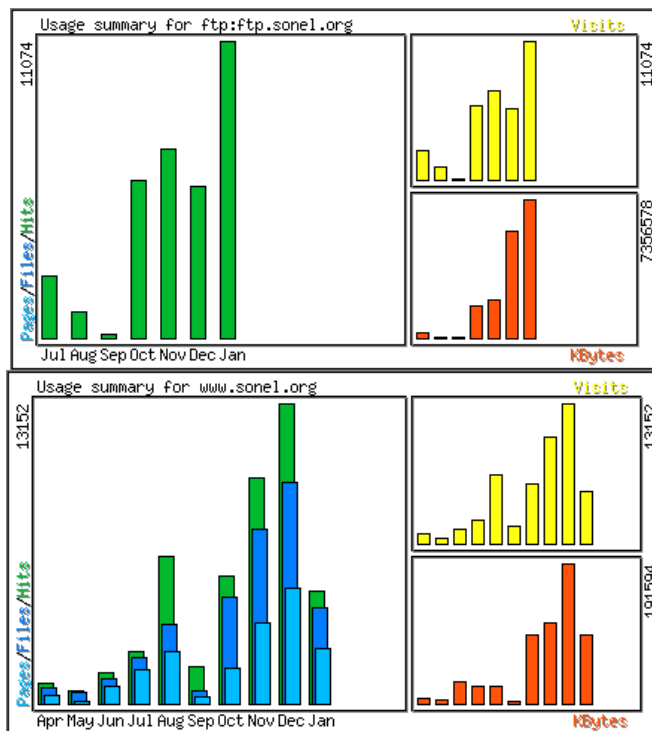
- Accord de la direction de l'EPSHOM pour déclencher la phase pilote d'évaluation du service en donnant accès aux données horaires des marégraphes numériques de leur réseau RONIM sur SONEL.

Au moment où ce rapport est rédigé, les données horaires du réseau de marégraphes RONIM du SHOM sont disponibles sur SONEL sous les conditions décrites dans le serveur. La carte ci-dessous montre la répartition actuelle de ce réseau. Il comporte à présent 19 observatoires équipés de Marégraphes Côtiers Numériques, MCN. Dix sont équipés de capteurs radar, les capteurs acoustiques étant progressivement remplacés, sauf en Méditerranée. En janvier 2002, un nouveau marégraphe a été installé au Crouesty en partenariat avec Météo-France et le syndicat mixte des ports du Morbihan. Des projets sont à l'étude à Roscoff, Saint-Malo et quelques sites en outremer (Fort-de-France, Nouméa...).

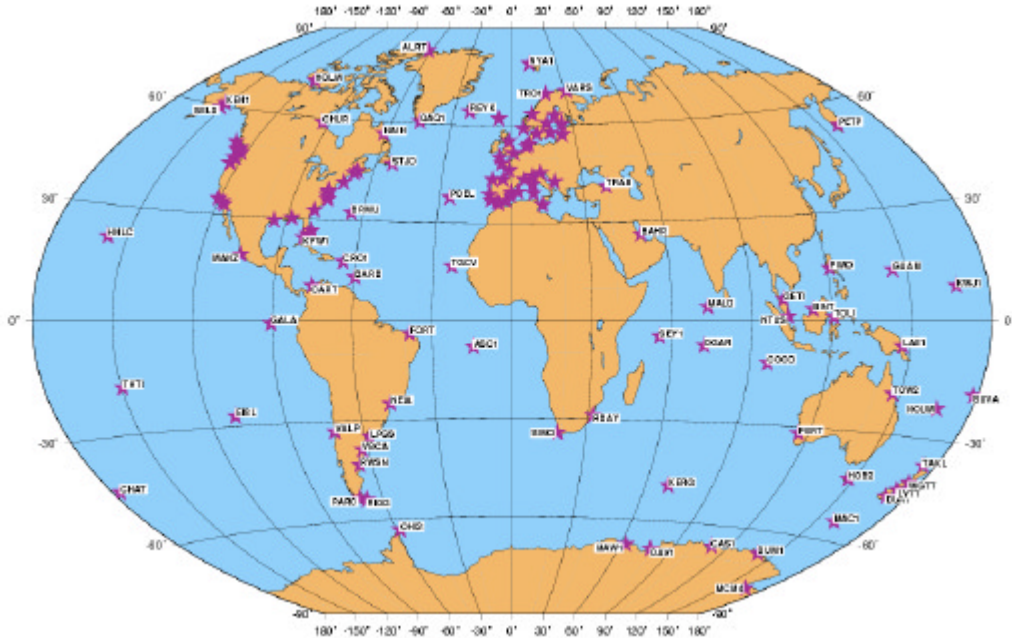


Couverture du réseau RONIM (Décembre 2002)

Les histogrammes suivants donnent une idée des accès et du volume de données transférés depuis que les serveurs FTP et HTTP de SONEL sont opérationnels.



Nous remarquons la croissance régulière des accès. Un examen plus détaillé montre que les fichiers les plus rapatriés sont les fichiers GPS du serveur FTP. C'est le succès de notre participation au projet pilote TIGA de l'IGS. La carte suivante donne une idée de l'envergure du centre de données que nous maintenons pour la communauté internationale de ce projet.



Pour plus d'infos sur TIG, voir : [http://op.gfz-potsdam.de/tiga/index\\_TIGA.html](http://op.gfz-potsdam.de/tiga/index_TIGA.html)

## **II. Etalonnage des marégraphes**

Depuis une dizaine d'années le SHOM mène en France une politique dynamique et exemplaire de modernisation du réseau de marégraphes côtiers en mettant à profit des technologies fondées d'abord sur des capteurs ultrasonores, années 90, ensuite sur des capteurs radar, depuis quelques années. Le SHOM apparaît comme pionnier dans ce domaine aux côtés de l'Australie et des Etats-Unis (réunion du groupe d'experts du programme mondial de surveillance du niveau des mers GLOSS, Hawaii, avril 2001). Mais l'expérience acquise sur les capteurs radar est encore bien courte dans la communauté internationale, et celle des marégraphes à ultrasons pas assez fouillée dans ses aspects stabilité sur plusieurs années.

En janvier 2000, nous avons conduit une expérience particulière d'étalonnage sur le marégraphe de Brest avec une méthode lourde mais qui a fait ces preuves par le passé [8]. En 2002, une nouvelle expérience a permis de confirmer les premiers résultats : les marégraphes à capteur radar ou à ultrasons présentent des défauts que les étalonnages standards ne révèlent pas toujours. Les expériences réalisées en laboratoire ne rendent pas compte des conditions de mesure et des réalités terrain, très variables d'un site 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. *Notable*, lorsqu'on s'intéresse à des phénomènes aussi ténus que la dérive des altimètres radar embarqués sur satellite ou à des variations climatiques du niveau marin de l'ordre de 1-2 mm/an.

Il convient donc de démarrer une politique 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.

La demande de soutien faite au GRGS en 2002 est orientée dans ce sens et nous allons commencer par cinq marégraphes importants en France, ceux qui sont équipés de récepteurs GPS en métropole et Corse. Un technicien de l'université de La Rochelle est mis sur cette question à 60% de son temps, il travaillera de concert avec les ingénieurs du SHOM. Par ailleurs, un projet de fin d'études de l'ENSAIS va examiner en détail le cas particulier du marégraphe de Marseille sur lequel l'IGN mène une surveillance régulière.

### **III. 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 2002.

<b>Marégraphe</b>	<b>DORIS depuis</b>	<b>Rattachement</b>
Ascension (GLOSS 263)	28/02/1997	6,5 km – GPS (Mars 1997)
Chatham Is. (128)	28/02/1999	1,2 km – Nivelte (Mars 1999)
Dumont d'Urville (131)	05/02/1987	500 m – GPS (2000, <u>2002</u> )
Kerguelen (023)	28/01/1987	3,3 km – GPS (Avril 2001)
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 ( <u>Mars 2002</u> )
Reykjavik (229)	04/07/1990	2,5 km – GPS (1997, 1999)
Sal, Cape Vert (329)	déc. 2002	7 km – GPS ( <u>2002</u> )
St. Helena (264)	20/06/2001	300 m – GPS (Juin 2001)
Seychelles (273)	27/09/1999	4 km – GPS (Sept. 1999)
Socorro (162)	09/06/1989	400 m – GPS (Mai 1998)
Thule, Groenland	28/09/2002	300 m – Nivelte ( <u>Sept. 2002</u> )
Tristan da Cunha (266)	10/06/1986	2 km – GPS ( <u>Janvier 2002</u> )

Les rattachements des marégraphes aux balises DORIS sont assurés par l'équipe de maintenance du réseau DORIS de l'IGN dès que l'occasion se présente, souvent lors

des rénovations des balises [3, 4, 5]. 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, <u>2002</u> )
Dumont d'Urville	20/12/1997	500 m – GPS +Nivelte (2001)
Kerguelen	16/11/1994	3 km – GPS (1994, 1995)
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 ( <u>2002</u> )

La reconnaissance INSU du réseau de marégraphes ROSAME permet en revanche d'envisager des opérations systématiques d'entretien et de contrôles à moyen terme. C'est ainsi qu'une programmation de travaux de rattachements géodésiques a été discutée en mai 2002 entre les différents partenaires du consortium SONEL [2]. Une première campagne NIVMER sera dédiée à ces travaux en janvier 2003 avec la participation de l'IGN et le concours du SHOM.

### **Conclusion et Perspectives**

Le dynamisme des différents acteurs de SONEL a permis de progresser de façon notable dans le développement de ce système. Il convient à présent de pérenniser cette infrastructure de recherche qui se crée autour de l'observation du niveau marin *in situ* en France. Des efforts restent bien entendu à accomplir dans l'archivage des données et dans le renseignement la diffusion des données. Néanmoins, il semble urgent de doter SONEL d'un cadre de légitimité et de reconnaissance qui lui permettraient de répondre aux appels d'offres européens et d'intégrer les réseaux d'excellence et d'observation qui se créent à cette échelle.

Ce cadre est indispensable pour 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 nos efforts resteront vains.

Enfin, un tel cadre permettrait de valoriser notre patrimoine historique d'observations du niveau mari. Est-il nécessaire de rappeler que c'est un ingénieur hydrographe français qui a inventé le marégraphe ? Celui-là même qui est à l'origine des annuaires de marée, M. Chazallon... Mais déjà, avant le déploiement industriel des marégraphes sur les côtes françaises, au milieu du 19<sup>ème</sup> siècle, les illustres Cassini, Lalande et Laplace avaient déployé des efforts importants à enregistrer les

hauteurs d'eau observés à l'échelle de marée.

La valorisation de toutes ces données historiques demande un travail long, parfois pénible, de recherche dans les archives, de mise en forme, de numérisation, de contrôle, sans garanti de succès immédiat ! Difficile à justifier face à la logique de production scientifique contemporaine...

### **Remerciements**

Outre les contributions volontaires de chaque organisme participant, je tenais à 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 par là très précieux. SONEL n'en serait pas là aujourd'hui sans ce soutien.

### **Sigles**

ESEAS	<i>European Sea-level Service.</i>
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 – Rapports**

- [1] **Jamy A.** : « Etude des performances des marégraphes de Brest ». Rapport de stage de Maîtrise en Sciences de la Terre à l'université de la Rochelle, juin 2002.
- [2] **Testut L.** : Compte-rendu de réunion SONEL du 15 mai 2002, au LEGOS, Toulouse. Définition des travaux de rattachement des marégraphes ROSAME et programmation de la prochaine mission NIVMER.
- [3] **Vergez P.** : « Rénovation de la station DORIS de Tristan da Cunha (Royaume-Uni, Atlantique Sud) – Janvier 2002 ». Rapport technique IGN CR/G 149, juin 2002.
- [4] **Vergez P.** : « Rénovation de la station DORIS de Terre Adélie (Antarctique) – Mars 2002 ». Rapport technique IGN CR/G 150, juin 2002.
- [5] **Vergez P.** : « Rénovation de la station DORIS de Port-Moresby (Papouasie Nouvelle Guinée) – Mars 2002 ». Rapport technique IGN CR/G 151, juin 2002.
- [6] **Wöppelmann G.** : « An inventory of collocated and nearly-collocated CGPS stations and tide gauges ». Workshop on Vertical Crustal Motion and Sea level Change, Toulouse, September 26-27, 2002.
- [7] **Wöppelmann G., M-N.Bouin, L.Daniel and R.LeRoy** : « A French contribution to TIGA IGS Pilot Project ». Workshop on Vertical Crustal Motion and Sea level Change, Toulouse, September 26-27, 2002.
- [8] **Wöppelmann G.** : Rapports d'activités à l'Institut Français de Navigation (IFN), avril et août 2000.

- [9] **Wöppelmann G.** : Compte-rendu de réunion SONEL du 12 février 2002, à l'EPSHOM, Brest. Spécifications techniques du serveur SONEL.
- [10] **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.
- [11] **Wöppelmann G.** : Compte-rendu de réunion SONEL du 5 juin 2002, au LEGOS, Toulouse. Groupe de travail sur les standards en marégraphie.