



## **Évolution instrumentale des marégraphes du réseau RONIM**

**Noé POFFA<sup>1</sup>, Séverine ENET<sup>1</sup>, Jean-Claude KERINEC<sup>1</sup>**  
**et l'équipe projet RONIM**

1. Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM),  
13 rue du Chatellier – CS 92803 – 29228 Brest Cedex 2, France.

### **Résumé :**

Dans le cadre du projet RONIM (Réseau d'Observation du Niveau des Mers), le SHOM met en place et maintient en condition opérationnelle un réseau moderne de marégraphes dans les ports principaux de France métropolitaine et d'outre-mer. Depuis quelques années, les marégraphes de ce réseau sont également associés à des programmes d'alerte liés aux risques environnementaux. Les contraintes opérationnelles du réseau ont donc évolué engendrant, notamment, une modernisation du matériel d'acquisition et de transmission des données des sites d'observatoires de marée. Cet article présente les évolutions instrumentales majeures au sein du réseau RONIM. Il traite, dans un premier temps, de la technologie des capteurs et de l'implantation des marégraphes dans les ports. Dans un second temps, les moyens d'acquisition et de transmission en temps réel des données délivrées sont décrits.

### **Mots-clés :**

RONIM - marégraphe – réseau de données – vagues – submersions marines – tsunami-observatoires de marée - transmission temps réel

### **1. Introduction**

Depuis 1992 et le lancement du Réseau d'Observation du Niveau des Mers (RONIM), le SHOM installe et maintient en condition opérationnelle sur les côtes françaises un réseau de Marégraphes Côtiers Numériques (MCN). Composé de 42 marégraphes début 2012 (34 en métropole (figure 1) et 8 dans les territoires d'outre-mer - hors réseau Pacifique), le réseau RONIM a suivi une évolution technologique et une densification liées à des besoins accrus en matière de marégraphie. Historiquement, destinées à l'étude et à la prédiction des marées ainsi qu'à la réduction des sondages bathymétriques, les mesures du niveau marin ont en effet connu plus récemment un regain d'intérêt lié à l'avènement des techniques d'altimétrie spatiale, à la compréhension de l'évolution du niveau des mers ou encore à la mise en place de systèmes de prévision et de vigilance sur le littoral.

A travers RONIM, le SHOM participe ainsi au Groupe de Recherche de Géodésie Spatiale (GRGS) et à de nombreux programmes d'observation du niveau des mers (GLOSS, ESEAS, EuroGOOS), de prévision (PREVIMER), de vigilance (dispositif Vagues-submersion avec Météo-France depuis octobre 2011), d'évolution du niveau

### Thème 3 – Instrumentation, mesures, imagerie et télédétection

moyen des mers (SONEL) et d'alerte liée au risque tsunami dans les régions concernées (mise en place du centre national CENALT avec le CEA).

En outre, face à l'intérêt multiple des données marégraphiques et à un besoin nécessaire de fédérer les divers organismes producteurs de données, le SHOM s'est vu confié en 2010 le rôle de référent du domaine à travers le portail REFMAR.

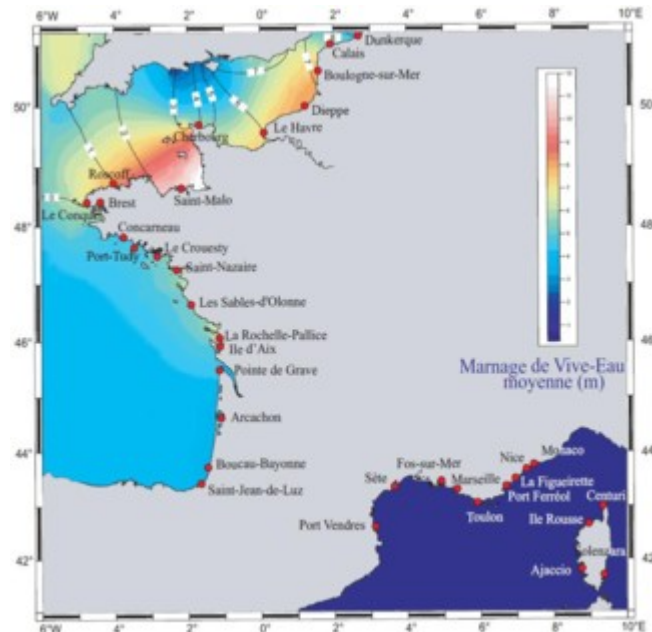


Figure 1. Réseau RONIM en France métropolitaine (avril 2012).

## 2. Evolution des systèmes de mesure

L'évolution des observatoires de marée permanents a suivi à la fois l'évolution de la technologie des systèmes de mesure et celle du type de données requis par les utilisateurs. Le choix de la technologie radar pour la mesure du niveau d'eau s'est fait au détriment des systèmes mécaniques à flotteur, à pression, ou à ultrasons pour des raisons de précision et de stabilité de la mesure (dérive instrumentale, hystérésis, etc.), de facilité d'installation et du peu d'entretien nécessaire (LEROY, 2009). Enfin, l'abandon progressif pour certains sites des puits de tranquillisation a été rendu possible par l'intégration des télémètres radar en air libre. Il se justifie également par la nécessité non plus de mesurer seulement la marée ou le niveau moyen, mais aussi des phénomènes de plus haute fréquence, comme les ondes de tempêtes ou tsunamis, pour lesquels les puits de tranquillisation traditionnels peuvent être moins adaptés.

### 2.1 Télémètre radar

La mesure de niveau par onde radar s'est démocratisée depuis la fin des années 80 pour devenir aujourd'hui une technique répandue avec un grand nombre de capteurs disponibles sur le marché (DEVINE, 2000). A l'origine destinés à l'industrie, les

capteurs de niveau radar sont aujourd'hui couramment utilisés en hydrométrie et sur de nombreux observatoires marégraphiques à travers le monde. On distingue deux principes de mesure selon le type de capteur utilisé : les méthodes TDR (*Time Domain Reflectometry*) et FMCW (*Frequency Modulated Continuous Wave*). Les deux sont basés sur la réflexion du signal radar à l'interface air/eau mais là où on mesure un temps de trajet en TDR, on mesure une différence de fréquence en FMCW. Dans le premier cas, l'appareil émet des impulsions électromagnétiques de faible intensité dont le temps de trajet entre l'émission et la réception de l'impulsion réfléchie est proportionnelle à la distance entre le point de référence de l'appareil et la surface de la mer.

Les capteurs FMCW n'émettent pas des impulsions de fréquence mais un signal continu modulé linéairement en fréquence entre deux fréquences définies  $f_1$  et  $f_2$  (figure 2). C'est donc ici la différence de fréquence  $df$  entre la fréquence d'émission actuelle et la fréquence reçue par le capteur après réflexion du signal sur l'eau qui est directement proportionnelle à la distance  $d$ . Cette fréquence différentielle est convertie en un spectre de fréquences par transformation de Fourier. La distance est ensuite calculée à partir du spectre. Cette méthode a l'avantage d'offrir une résolution plus précise nécessitant cependant une puissance de calcul plus importante.

La distance calculée par le capteur radar est convertie en un signal numérique lui-même ramené par la centrale d'acquisition en une hauteur d'eau référencée par rapport au zéro hydrographique du port. Le marégraphe est en effet systématiquement rattaché à l'observatoire de marée du port en nivelant son point de référence par rapport aux repères de marée SHOM et aux repères de nivellement IGN adjacents au site.

Les télémètres radars choisis par le SHOM satisfont les exigences de qualité dictées par le programme GLOSS (incertitude instrumentale de mesure inférieure au centimètre, COI, 2006) ainsi que des critères essentiels à un réseau de données opérationnel : robustesse, faible consommation électrique et compatibilité avec les centrales d'acquisition numériques.

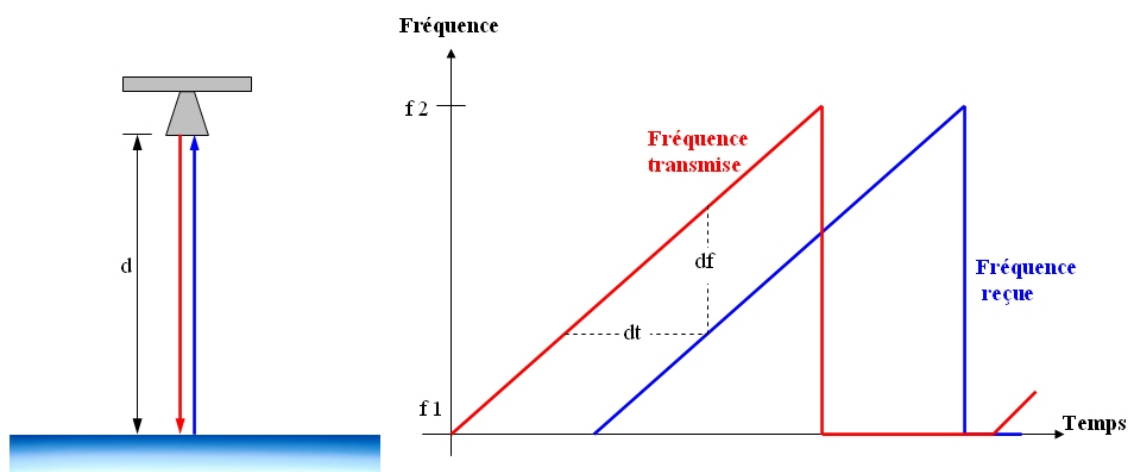
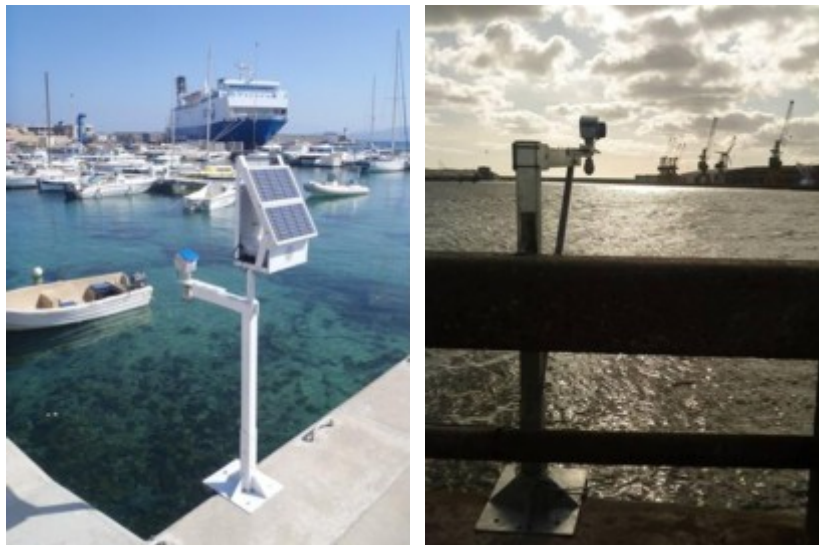


Figure 2. Schématisation du principe de fonctionnement du radar FMCW.

## *Thème 3 – Instrumentation, mesures, imagerie et télédétection*

### 2.2 Installation *in situ*

Le déploiement des marégraphes du réseau RONIM s'appuyant soit sur les infrastructures existantes d'anciens marégraphes de technologie plus ancienne (flotteur) soit sur de nouvelles installations, chaque site est instrumenté en conséquence. En outre dans chaque port équipé de MCN, le SHOM est partenaire de l'organisme propriétaire de l'infrastructure portuaire (Mairie, CCI, Marine Nationale, ...) et d'un organisme parfois distinct chargé du contrôle et de l'entretien du marégraphe (capitainerie, service bathymétrie du port, antenne Météo-France...). Ce partenariat sous convention permet à ces organismes un accès privilégié aux données et offre au SHOM un contact local essentiel. Pour les sites où les infrastructures d'accueil sont minimales (pas de puits de tranquillisation existant, pas de construction d'abris en "dur", ...), le SHOM installe depuis 2009 des marégraphes constitués de capteurs radar sur potence et d'armoire contenant le système d'acquisition et de transmission, permettant ainsi de réduire les coûts d'installation et l'encombrement de la surface portuaire. On s'affranchit ainsi également des interventions de nettoyage des puits de tranquillisation (POFFA *et al.*, 2011). Ce type d'architecture est principalement utilisé dans les ports de Méditerranée nouvellement équipés de MCN dans le cadre du projet d'alerte aux tsunamis CRATANEM mais aussi dans les ports sujets à un envasement trop fréquent (figure 3).



*Fig. 3. Exemples d'implantation à l'Île Rousse (gauche) et Boulogne sur Mer (droite).*

### 2.3 Avantages et limites des capteurs en air libre

Hormis l'avantage économique certain que représentent de telles installations s'affranchissant de la construction et de l'entretien d'un puits et de son infrastructure, le marégraphe à l'air libre est particulièrement intéressant dans le cadre de systèmes d'alerte. Les nouvelles applications demandées aux MCN et évoquées précédemment exigent la possibilité de mesurer certains mouvements très dynamiques de la surface de

la mer comme une élévation rapide ou un retrait lié à une onde de tsunami. Or, s'il est difficile d'appréhender précisément les problèmes que poserait la mesure d'un tel phénomène dans un puits de tranquillisation (NAMEGAYA *et al.*, 2009), le principe de mesure en air libre permet de s'affranchir d'éventuels retards ou filtrages liés au puits.

Plusieurs études menées par les organismes nationaux en charge des mesures de marée dans d'autres pays (Etats-Unis, Grande Bretagne, Espagne, Allemagne, Norvège, ...) ont largement prouvé la validité de la mesure de hauteur d'eau (voire de houle) par radar en air libre (BARJENBRUCH *et al.*, 2002 ; HEITSENRETH, 2009 ; WOODWORTH & SMITH, 2003) . Un retour d'expérience sur des séries supérieures à une année de mesures par les premiers MCN du SHOM installés en air libre vient également corroborer ces résultats. La comparaison des données de deux MCN radars installés sur le même site (Brest Penfeld) à l'intérieur et à l'extérieur du puits tranquillisant a par exemple montré une excellente concordance entre ces deux séries de mesures lorsqu'on considère les mesures moyennées sur deux minutes et échantillonnées toutes les 10 minutes (POFFA *et al.*, 2011). Ce format d'échantillonnage en vigueur au SHOM est valable pour les applications traditionnelles de marégraphie. Cependant les besoins de mesures de niveau marin liés à la détection et à la prévention de risques naturels font qu'il est à présent nécessaire d'acquérir les données à une fréquence beaucoup plus élevée. Le graphe de la figure 4 montre ainsi une acquisition brute, à 1 Hz, des mesures des MCN intérieur et extérieur au puits de Brest Penfeld à pleine mer par vent faible et léger clapot.

La mesure du MCN en air libre (courbe bleue) présente un "bruit" de l'ordre de 5 cm d'amplitude en raison de l'agitation du plan d'eau extérieur alors que le radar en puits de tranquillisation (courbe noire) offre une courbe de mesures lissée grâce au filtrage mécanique exercé par le puits (l'incertitude de mesure de  $\pm 3$ mm est la même pour les deux capteurs). Pour les applications temps réel, le SHOM a défini une cadence d'acquisition de une minute avec une période d'acquisition moyennée sur 15 secondes, ceci afin de satisfaire les standards généralement admis dans le cas de la prévention du risque tsunami (COI, 2008) et de filtrer le bruit lié aux incertitudes de mesures de l'instrument et au clapot environnant. Le graphe de la figure 5 montre les mêmes données mais, cette fois-ci, acquises avec ces paramètres. Dans ce cas, les données du MCN en air libre sont directement exploitables et comparables au MCN "classique", ceci dans de bonnes conditions météorologiques. Le bruit de clapot est globalement éliminé, sans perdre la possibilité d'enregistrer un événement haute fréquence, une onde de seiche pouvant par exemple présenter une période assez courte (4 minutes).

L'exemple du marégraphe de Brest, particulièrement abrité, n'est toutefois pas représentatif de l'ensemble des sites. Dans certains ports beaucoup plus exposés au vent et à la houle entrante, il est certain que la mesure radar en air libre ne sera pas forcément exploitable en tant que donnée de marée dans des conditions météorologiques défavorables. Ainsi, la figure 6 présente le tracé de la mesure temps réel dans le port de

### Thème 3 – Instrumentation, mesures, imagerie et télédétection

Centuri au cap Corse, lors du coup de vent du 17/12/2011 (plus de 40 nœuds de vent d'Ouest). Le faible marnage renforce la dispersion des mesures sur l'amplitude du graphe avec des écarts entre deux mesures consécutives dépassant les 70 centimètres. Il est donc incontestable que le radar en air libre ne permet pas un lissage des courbes de marée aussi "propre" que pour les installations en puits de tranquillisation, mais reste très intéressant, notamment pour les applications d'alerte et de vigilance côtière.

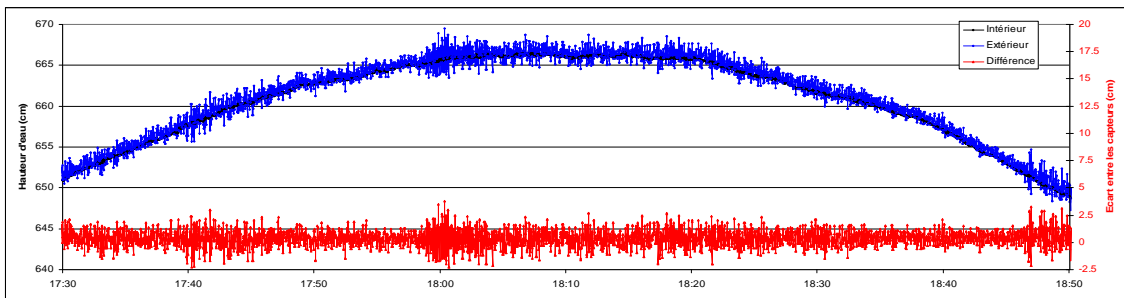


Figure 4. Mesures brutes des deux MCN de Brest le 12/01/2012.

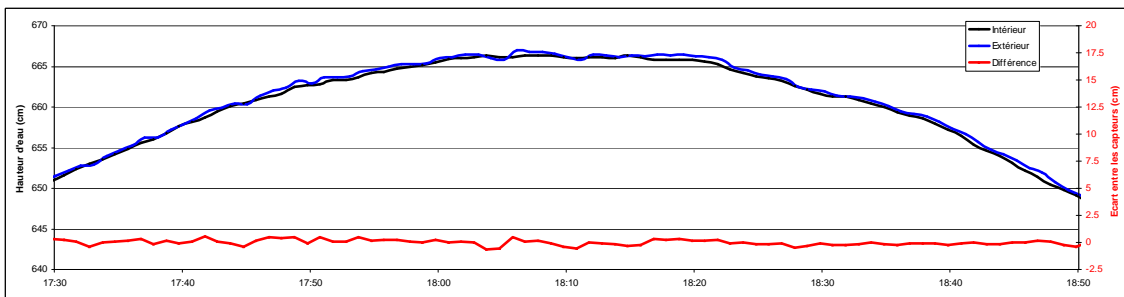


Figure 5. Mesures échantillonnées et moyennées des deux MCN de Brest le 12/01/2012.

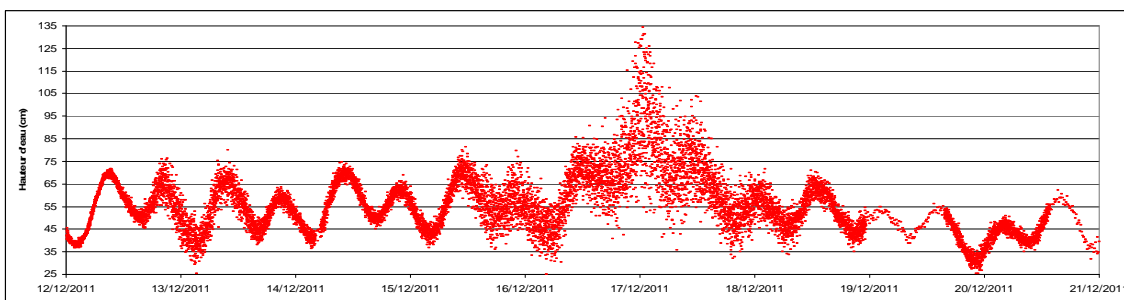


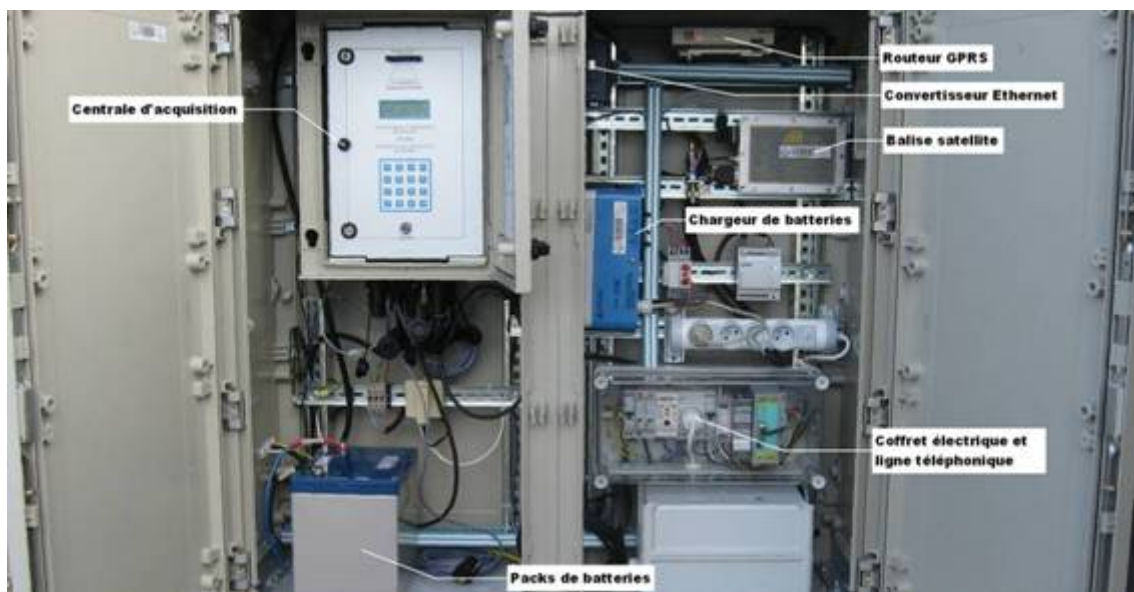
Figure 6. Marégramme de Centuri du 12 au 21/12/2011.

### 3. Acquisition et transmission temps réel des données des MCN

L'acquisition numérique des mesures de niveau est réalisée par une centrale incluant les coefficients d'étalonnage du capteur, définis pour chaque site selon les procédures en vigueur au SHOM (CREACH, 2010). Par sécurité, les mesures de niveau échantillonnées à 10 min sont archivées localement sur carte mémoire avant d'être

transmises quotidiennement vers le SHOM. Les données brutes sont quant à elles transmises en temps réel avant d'être traitées (échantillonnage, archivage et contrôle qualité) par un logiciel spécifique. Par ailleurs des alarmes en cas de dépassement de seuil ou de dysfonctionnement du système sont également transmises instantanément le cas échéant. L'alimentation électrique sur secteur ou par panneaux solaires permet un fonctionnement continu sur batterie d'au minimum 5 jours en cas de coupure.

Depuis 2008 et le passage progressif de tous les MCN du réseau RONIM en liaison temps réel, tous les marégraphes ont été équipés de routeurs ADSL ou GPRS/3G. Certaines liaisons ont également été doublées par une liaison satellitaire utilisant le système de DCP d'Eumetsat (cas des MCN participant aux réseaux d'alerte aux tsunamis). Les messages transmis, codés au format météorologique CREX (WMO, 2010), sont ensuite rediffusés sur le Système Mondial de Télécommunications (SMT) de l'Organisation Mondiale de Météorologie (OMM) afin d'être accessibles à tous les organismes concernés. Cette redondance de la liaison temps réel est actuellement en cours de généralisation sur les autres MCN de vigilance météorologique afin d'apporter une sécurisation supplémentaire du transfert de données.



*Figure 7. Système complet d'acquisition et de transmission du MCN.*

#### **4. Conclusions**

La modernisation du réseau de marégraphes RONIM a permis à la France de se doter d'un outil opérationnel de mesure de niveau marin sur l'ensemble du littoral. Les nouveaux systèmes instrumentaux mis en place depuis 1992 permettent d'équiper chaque site selon ses caractéristiques propres en limitant au mieux les coûts et les infrastructures nécessaires à l'implantation des marégraphes. Il est prévu à moyen terme d'équiper les quelques ports stratégiques restants afin d'obtenir une couverture optimale

des zones côtières d'intérêt. D'un point de vue instrumental, de futures utilisations des MCN peuvent amener une évolution de ceux-ci vers l'intégration de capteurs supplémentaires afin d'offrir une répétition de la mesure de niveau ou bien la mesure d'autres paramètres météorologiques. De même, les systèmes de communication en évolution technologique constante peuvent également être amenés à se diversifier (communication à plus haut débit, généralisation des transferts de données par satellite ou intégration de systèmes de transmission HF et VHF). Il est également possible d'imaginer adapter les MCN destinés à des installations portuaires à d'autres emplois tels que des systèmes de mesure de marée ou de houle en pleine mer basés sur des plateformes offshore (cas d'études accompagnant par exemple les projets d'installation de champs d'éoliennes en mer). Les données des MCN sont diffusées par le SHOM vers divers sites Internet partenaires accessibles au grand public (<http://refmar.shom.fr>, <http://www.ioc-sealevelmonitoring.org>, <http://www.previmer.org>).

## 5. Références bibliographiques

- BARJENBRUCH U., MAI S., OHLE N., MERTINATIS P. (2002). *Monitoring water level, waves and ice with radar gauges*. Proc. of the Hydro 2002 Conf., pp 328-337, Kiel, Germany.
- COI -Commission Océanographique Intergouvernementale- (2006). *Manual on sea-level measurement and interpretation. Volume 4-An update to 2006*. COI Manuels et Guides, n° 14, 80 p.
- COI -Commission Océanographique Intergouvernementale- (2008). *Tsunami early warning and mitigation system in the North Eastern Atlantic, the Mediterranean and connected seas, NEAMTWS Implementation Plan Version 3.3*. COI Technical Series 73.
- CREACH R. (2010). *Mesures marégraphiques*, Guide SHOM GU2008-056 V. 2.1
- DEVINE P. (2000). *Radar level measurement – The users Guide*. Vega Controls Ltd.
- HEITSENRETH R.M. (2009). *Using Microwave Radar For Long Term Remote Sensing of Ocean Surface Dynamics*. NOAA - National Ocean Service.
- LEROY R (2009), *Apport des télémètres radar en hydrographie et évaluation de leurs performances*. Annales Hydrographiques, n° 774.
- NAMEGAYA Y., TANIOKA Y., ABE K., SATAKE K., HIRATA K., OKADA M., GUSMAN A.R. (2009). *In situ measurements of tide gauge response and corrections of tsunami waveforms from the Niigataken Chuetsu-oki earthquake in 2007*, Pure appl. Geophys. 166, pp 97–116. doi:10.1007/s00024-008-0441-6
- POFFA N. et al. (2011). *Évolution Instrumentale des marégraphes du réseau RONIM*. Annales Hydrographiques n° 777.
- WOODWORTH P., SMITH D. (2003). *A one year comparison of radar and bubbler tide gauges at Liverpool*, International Hydrographic Review, Vol. 4, n° 3, 9 p.
- WMO -Organisation Météorologique Mondiale- (2010) *Manual on Codes - International Codes – Vol. I.2*. WMO-No. 306.