

**Alain Coulomb**

## **Marégraphe de Marseille**

### **Contrôle des appareils effectué en juin 2013**



*Manifestation « Transhumance » le 9 juin 2013 dans le cadre du programme « Marseille – capitale européenne de la culture » - Photographie Bernard Lefevre*

**DIFFUSION OUVERTE**

CR/G 277

N° archive 28.456

Date de création 25/10/2013

---

**Mots-clé**

---

Test de Van de Castele, marégraphie, étalonnage.

---

---

**Résumé**

---

Ce document est le compte-rendu de l'opération de contrôle du bon fonctionnement des marégraphes de l'observatoire de Marseille effectuée en juin 2013.

---

---

**Matériel**

---

**Système d'exploitation**

Windows7 professionnel SP1

---

**Logiciel**

Word 2010

---

---

**Validation**

	<b>Fonction</b>	<b>Nom</b>	<b>Visa</b>
Commanditaire	Chef de département	Alain Coulomb	07/01/2014 – signé
Rédacteur principal	Chef de département	Alain Coulomb	23/10/2013 – signé
Lecteur	Adjoint technique	Pascal Tiphaneau	05/12/2013 – signé
Approbateur	Chef de service	Alain Harmel	08/01/2014 – signé
Vérificateur	Responsable qualité	Thierry Person	10/01/2014 – signé

---

**Diffusion**

<b>Organisme / Service</b>	<b>Fonction / Nom</b>	<b>Numérique</b>	<b>Papier</b>
IGN / DPR	Directeur de la Production / Philippe Gerbe	oui	-
IGN / DPR	DPR Adjoint / Didier Moisset	oui	-
IGN / DPC	Chargé MO Géodésie / François Becirspahic	oui	-
IGN / DRE / CDOS	Chef du CDOS / Richard Grimm	oui	-
IGN / DSSI / SR / LAREG	Chef de Laboratoire / Olivier Jamet	oui	-
IGN / DRE/ ENSG / DPTS	Chef de Département / Serge Botton	oui	-
IGN / DPR / SGN	Chef de Service / Alain Harmel	oui	-
IGN / DPR / SGN	Responsable qualité / Thierry Person	oui	-
IGN / DPR / SGN / PMC	Responsable documentation / Xavier della Chiesa	non	3
IGN / DPR / SGN / PMT	Responsable produits / François L'Ecu	oui	-
IGN / DPR / SGN	Chefs de départements	oui	-
IGN / DPR / SGN / PMR	Rédacteur / Alain Coulomb	oui	5

<b>1.</b>	<b>Introduction</b>	<b>5</b>
1.1.	Contexte historique et scientifique	5
1.2.	Contexte particulier de la mission de juin 2013	7
<b>2.</b>	<b>Organisation de la mission</b>	<b>8</b>
2.1.	Personnels mobilisés	8
2.2.	Matériel mis en œuvre	8
2.3.	Conditions matérielles	8
2.4.	Prise en charge de la mission	9
<b>3.</b>	<b>Description des travaux</b>	<b>9</b>
3.1.	Détermination de l'altitude de l'index de la sonde lumineuse	9
3.2.	Problème de réglage horaire	10
3.3.	Mesures à la sonde lumineuse	10
<b>4.</b>	<b>Conclusion et actions à envisager</b>	<b>14</b>
<b>5.</b>	<b>Références</b>	<b>14</b>
<b>6.</b>	<b>Annexes</b>	<b>15</b>
6.1.	Annexe 1 – Tableau des mesures à la sonde lumineuse	15
6.2.	Annexe 2 – Constats de vérification et d'étalonnage de la sonde lumineuse	16
6.3.	Annexe 3 – Nettoyage de la galerie	17
6.4.	Annexe 4 – Travaux divers	17
	Mise en place d'une sonde météo	17
	Réfection du câble de l'antenne RGP	17
	Tuyau d'arrosage	18
	Peinture de l'escalier en colimaçon	18
	Confection d'un plancher	18

# 1. Introduction

## 1.1. Contexte historique et scientifique

L'observatoire du niveau de la mer de Marseille, classé monument historique depuis 2002, fut construit en 1883-1884 à la demande du Service du nivellement général de la France dans le but de déterminer le niveau moyen de la mer et par suite de fixer l'origine des altitudes sur le territoire français continental. Cette origine devait approcher au mieux le géoïde, surface équipotentielle du champ de pesanteur terrestre coïncidant en moyenne avec le niveau des mers. Le plus grand soin fut apporté pour mesurer le niveau marin et atteindre cet objectif. Tout d'abord, en choisissant un site peu influencé par les marées, à l'abri de tout apport notable d'eau douce. Ensuite, en construisant un observatoire solidement ancré sur le socle rocheux. Enfin, en imaginant un appareil de mesure original dont les qualités métrologiques rivalisent encore aujourd'hui avec celles des appareils les plus modernes.

Cet observatoire est situé à Marseille, près de l'anse Calvo, au n°174 boulevard Kennedy, sur la promenade de la Corniche. Il est constitué de deux bâtiments : l'un abrite les instruments de mesure, l'autre est l'ancien logement du gardien chargé de son entretien et des relevés. Le dernier gardien s'est retiré en 1988.

Le plus ancien des instruments de l'observatoire est un marégraphe mécanique à flotteur, qui fut construit à Altona, en Allemagne, en prenant en compte les exigences formulées par Charles Lallemand (1857-1938), alors Secrétaire du comité du nivellement général de la France. Cet appareil est exceptionnel à plusieurs titres :

Il est équipé d'un dispositif original de planimètre totalisateur. Il s'agit d'un dispositif ingénieux qui facilite le calcul du niveau moyen de la mer en faisant mécaniquement la somme des valeurs partielles de cette grandeur, enregistrée en continu. Autrement dit, il intègre les valeurs instantanées du niveau de la mer en fonction du temps.

Les observations du niveau moyen de la mer réalisées entre le 2 février 1885 et le 31 décembre 1896 (inclus) ont servi à fixer le zéro du réseau de nivellement français continental. Le marégraphe a pourtant continué à fonctionner au-delà de son objectif premier, avec un intérêt variable au cours des décennies, d'abord de la part du Service du nivellement général de la France, puis de l'IGN.

Depuis 1998, le site est aussi équipé d'un marégraphe côtier numérique (MCN) qui a permis l'intégration de l'observatoire dans le Réseau d'observation du niveau de la mer (RONIM) géré par le Service hydrographique et océanographique de la marine (SHOM).

En 2009, dans un cadre de coopération entre le SHOM et l'IGN, précisé dans le contrat particulier du 22 mai 2000 et considérant d'une part, la volonté du SHOM de garder le réseau RONIM compatible avec

les normes nationales et internationales (Organisation Hydrographique Internationale / OHI ; Global Sea Level Observing System / GLOSS), et d'autre part l'intérêt commun du SHOM et de l'IGN de disposer d'informations fiables sur les hauteurs d'eau à Marseille, le marégraphe acoustique installé au marégraphe de Marseille depuis 1998 a été remplacé par un instrument plus moderne, comprenant notamment un capteur radar (contrat n° 151/2008 SHOM / IGN – Installation, entretien et exploitation du marégraphe côtier de Marseille – archive IGN/SGN 1001305, pièce MM20090219F1).

Les deux marégraphes (mécanique et numérique) sont installés dans le même puits et fonctionnent en parallèle. Comme la plupart des instruments, ils présentent des imperfections qu'il convient de caractériser et de suivre dans le temps. En particulier, le plus grand soin doit être porté à la surveillance de la stabilité de la référence du marégraphe, aussi bien interne et propre à l'appareil qu'externe et liée au socle sur lequel il repose. Une telle surveillance est indispensable pour construire une série temporelle du niveau marin cohérente et de grande qualité métrologique.

Il est donc important de recalibrer régulièrement, avec précision, la référence interne de l'appareil à celle de l'observatoire. La référence de l'observatoire est indépendante des appareils qui pourraient se succéder. Elle est matérialisée par un réseau local de repères de nivellement. Aussi, est-il également important de surveiller la stabilité de ces repères. L'ensemble des critères auxquels doit satisfaire un marégraphe du programme mondial GLOSS sont rappelés dans le document : Manual on sea-level measurement and interpretation – Intergovernmental Oceanographic Commission – 1985, mise à jour en 2006.

Enfin, une caractérisation fine des erreurs systématiques qui affectent le marégraphe est une étape préalable à l'étude de leurs causes. Elle permettra par la suite de situer les performances du marégraphe dans la gamme existante, mais aussi de mettre en place une stratégie de contrôle adaptée.

Il s'ensuit les contrôles suivants :

- l'étalonnage des marégraphes (voir paragraphe 1.2.1.),
- le contrôle mensuel (décrit dans le document IT/G 276),
- le contrôle de stabilité des repères du réseau local par nivellement de précision.

La stabilité régionale du socle sur lequel repose le marégraphe est surveillée par les résultats de l'analyse des mesures de la station GNSS permanente, dont le repère matériel est inclus dans le réseau local de repères du marégraphe, et par des mesures de gravimétrie absolue, réalisées à la fois par l'IGN et l'université de Montpellier.

### **L'étalonnage des marégraphes**

Suivant les recommandations internationales, l'étalonnage doit se faire au moins une fois par an. La fréquence des opérations dépend néanmoins des performances particulières de chaque marégraphe. Si l'expérience montre que l'appareil est très stable dans le temps, les étalonnages seront espacés en conséquence.

Des étalonnages sont également nécessaires à la suite d'entretiens ou de réparations du marégraphe ou d'une de ses composantes. Notons à ce propos que le chenal et la galerie d'accès au puits de tranquillisation influencent la mesure du niveau de la mer et doivent être considérés comme partie intégrante du marégraphe. L'expérience montre que le changement d'une pièce du marégraphe, voire le nettoyage de certains éléments, par exemple les rails de guidage du flotteur, peuvent modifier les performances et les caractéristiques du marégraphe (constante de calage...).

## 1.2. Contexte particulier de la mission de juin 2013

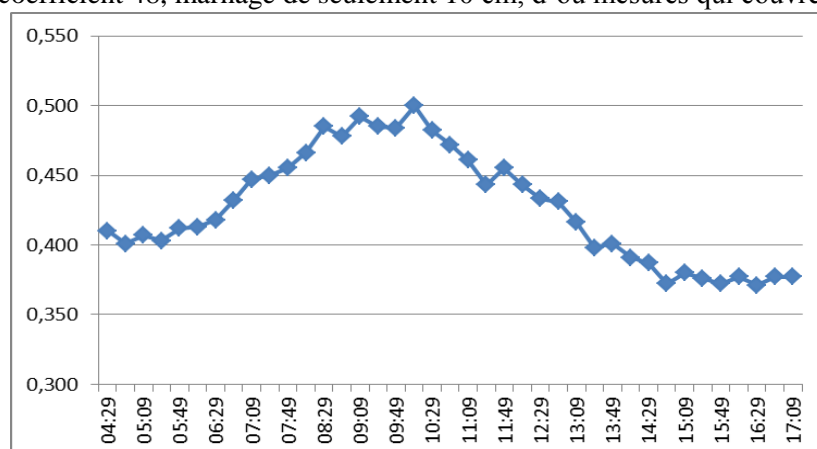
Le contrôle des marégraphes de l'observatoire de Marseille réalisé en juin 2013 répond à la spécification énoncée dans le document technique « IT/G 276 – Contrôle des marégraphes de l'observatoire de Marseille » : « **il est important de réaliser un étalonnage avant et après tout changement de composante de l'appareil marégraphique.** (...) Notons à ce propos que le chenal et la galerie d'accès au puits de tranquillisation influencent la mesure du niveau de la mer et doivent être considérés comme partie intégrante du marégraphe ».

Un nettoyage de la galerie du marégraphe de Marseille a été réalisé le mercredi 12 juin 2013 (voir le compte-rendu de cette opération en annexe 3).

En conséquence, un test de Van de Casteele a été effectué le lendemain, même si la dernière opération analogue était plutôt récente (voir CR275-Marégraphe de Marseille-Contrôle des appareils effectué en février 2013 – Coulomb, Thomasset, Tiphaneau).

Pour la première fois depuis de nombreuses années, aucun personnel de l'université de La Rochelle (ULR) n'a participé au test (manque de disponibilité des agents). Malgré cela une coopération avec l'ULR est toujours souhaitable et vivement souhaitée pour de prochaines missions.

Le coefficient de marée prévu du 13 juin était un peu faible pour un test de Van de Casteele (coefficient 48, marnage de seulement 10 cm, d'où mesures qui couvrent une plage d'exploration réduite).



Marégramme issu  
des mesures du MCN

En attendant le 25 juin, nous aurions profité d'un coefficient 105 et d'un marnage 30cm qui auraient permis une plage d'exploration plus importante. Le test a tout de même été réalisé le 13 juin pour les raisons suivantes :

- rentabilisation des trajets pour Messieurs Coulomb et Toyer (un test le 25 aurait nécessité un autre trajet) ;
- formation de Thomas Donal au test de Van de Castele en vue de réalisation d'autres tests outremer (à commencer par St-Pierre-et-Miquelon) ;
- indisponibilité de Thomas Donal le 25 (en mission justement à St-Pierre-et-Miquelon).

Cette mission a aussi donné lieu à des travaux divers (mise en place d'une sonde météo, travaux d'entretien des appareils et des bâtiments du Marégraphe, ...), décrits en annexe 4.

## 2. Organisation de la mission

### 2.1. Personnels mobilisés

L'équipe était composée d'Alain COULOMB, chef du département des réseaux de référence matérialisés (PMR) du Service de géodésie et nivellement (SGN), de Jean-Marie TOYER, opérateur de cette unité et de Thomas DONAL, géomètre de l'unité réseaux et service internationaux (PMM).

### 2.2. Matériel mis en œuvre

Le ruban invar et la sonde lumineuse qu'il supporte sont entreposés au Marégraphe et utilisés pour les contrôles mensuels. Tout le matériel technique supplémentaire a été acheminé sur place depuis St-Mandé ou Villefranche-sur-Cher, à savoir : 1 niveau optique Wild NA2 ; 1 mire de 2 mètres à graduations centimétriques (avec ses nivelles et sa paire d'étauçons) ; 1 trépied coulissant ; 1 crapaud auto-stable ; 1 PC portable de terrain.

Hormis le PC portable, tout ce matériel, inutilisé ailleurs qu'au marégraphe de Marseille, a été laissé sur place et entreposé dans l'ancienne maison du gardien, dans de bonnes conditions de conservation (ventilation motorisée).

### 2.3. Conditions matérielles

Depuis la restauration des bâtiments, en 2006-2007, il est possible de manger dans le logement de l'observatoire (maison de l'ancien gardien) et d'utiliser les toilettes de cette maison. Ceci permet de rendre plus acceptable la longue journée de contrôle (mesures pendant un cycle complet de marée, soit environ 12h30 sans interruption).



## 2.4. Prise en charge de la mission

Une commande « de vocation » est ouverte annuellement. En 2013, les travaux s'imputent sur le code 30BN13010.GMAREG.

## 3. Description des travaux

Les travaux de contrôle ont consisté à réaliser un test de Van de Castele, qui permet de comparer les hauteurs d'eau fournies par les deux marégraphes (totalisateur et numérique) à celles acquises au moyen d'une sonde lumineuse (pour plus de détails sur ce test, voir le document IT/G 276).

Pour une fois, l'état de la mer a permis de réaliser des lectures à l'échelle de marée sur presque la totalité du cycle. Rappelons que de bonnes lectures à l'échelle permettent de mettre en évidence les déphasages liés à la propagation de l'eau dans la galerie en cas d'encombrement de celle-ci.

### 3.1. Détermination de l'altitude de l'index de la sonde lumineuse

La détermination de l'altitude de l'index de lecture de la sonde lumineuse a été réalisée à partir de deux rivets scellés sur la margelle inférieure du puits. L'opérateur n'a pas visé une graduation du ruban, mais directement l'index. Les mesures et les résultats figurent dans le tableau ci-dessous.

13/06/2013			M.ac-VII	M.ac-V (point A)
		Altitude NGF-IGN69	1,7864	1,7864
		Lecture arrière	1.3267	1.3272
		Lecture avant sur index	0.0035	0.0042
		Dénivelée	1.3232	1.3230
Ecart-type	0,0002	Altitude index	3,1096	3,1094

**Tableau 1 :** mesures de détermination de la hauteur du zéro de l'index de lecture à la sonde lumineuse

L'altitude du zéro de l'index a été déterminée à  $3,1095 \pm 0,0002$  mètres au-dessus du zéro NGF/IGN69. La dernière altitude, déterminée en janvier 2013, était de  $3,1096 \pm 0,0002$  mètres au-dessus du zéro NGF/IGN69.

### 3.2. Problème de réglage horaire

Normalement, les mesures de hauteurs d'eau doivent se faire en simultané : (1) sur la réglette du marégraphe mécanique, (2) sur le ruban porte-sonde, (3) sur l'écran de visualisation de la centrale d'acquisition du MCN et (4) sur l'échelle de marée. C'est l'opérateur posté près du marégraphe totalisateur qui donne le top.

Malheureusement, la montre utilisée a été réglée avec une minute de décalage sur l'heure TU. Au lieu d'être réalisées à 4h30, les mesures (1) et (2) ont été effectuées à 4h29, ce décalage persistant sur l'ensemble du test.

Pour corriger au mieux cette erreur, Virginie Goirand (SHOM) a récupéré des mesures temps réel. Ce sont ces valeurs qui figurent dans le tableau en annexe 1 (H eau MCN (récup sur TR)) et qui ont été utilisées pour construire le diagramme 1 (calage MCN/sonde).

### 3.3. Mesures à la sonde lumineuse

Les mesures ont été réalisées avec la sonde lumineuse IGN n°3, identifiée comme étant l'équipement de mesure dimensionnelle (EMD) n°20100 dans la base de données de surveillance et de gestion interne des matériels de l'unité des Réseaux matérialisés du SGN (PMR), accessible à l'adresse :

[\\Rks0911w032\encours\\_travaux\\_pmr\Gestion du matériel\MATPMR.mbd](\\Rks0911w032\encours_travaux_pmr\Gestion du matériel\MATPMR.mbd).

Sur le constat d'étalonnage en vigueur, réalisé le 21/02/2013, la constante de cette sonde est notée 465,30 mm (0,46530 m). Voir constats de vérification et d'étalonnage<sup>1</sup> en annexe 2.

Il s'agit de la constante « a » de la sonde (voir IT/G 276). La constante « b », dépendante du montage de la sonde sur le ruban, a été mesurée sur place. Sa valeur est  $48,00 \pm 0,25$  mm ( $0,04800 \pm 0,00025$  m).

En prenant en compte la hauteur de l'index et ces constantes « a » et « b », nous obtenons la valeur de la constante ramenant les mesures de tirant d'air de la sonde lumineuse au zéro NGF/IGN69, référence de l'observatoire. Soit C cette constante :

$$C = (\text{zéro\_index}) - (a) - (b) = 3,10950 - 0,46530 - 0,04800 = 2,59620 \text{ m} \pm 0,00025 \text{ mètre}$$

Dans les calculs, pour obtenir la hauteur d'eau mesurée par rapport au zéro NGF/IGN69, il faut donc retrancher la valeur lue à la sonde lumineuse à la valeur de C.

Enfin, le zéro hydrographique étant à 0,329 m au-dessous du zéro NGF/IGN69, il faut ajouter cette valeur à la précédente pour obtenir une hauteur d'eau par rapport au zéro hydrographique.

---

<sup>1</sup> La vérification d'une sonde lumineuse consiste à s'assurer du bon état général de la sonde, de l'allumage de la diode électroluminescente quand un contact est établi (led), du bon fonctionnement de l'ensemble du circuit électrique (contact) et du bouton poussoir de test (bouton), du bon état de la pointe de contact (qui ne doit pas être émoussée) et du joint d'étanchéité.

L'étalonnage consiste à mesurer, au moyen d'un cathétomètre, la constante « a » de la sonde, c'est-à-dire la distance entre l'extrémité de la pointe et la surface supérieure de la bague-écrou placée sur le bras de suspension de la sonde.

Les diagrammes de Van de Casteele ci-dessous révèlent les performances du MCN (*diagramme n° 1*) et du marégraphe totalisateur historique (*diagramme n°2*). Chacun des deux appareils possède sa constante de calage propre. Le tableau des mesures et lectures figure en annexe 1.

La courbe verte correspond à la marée descendante, la bleue à la marée montante. Dans un souci de faciliter la lecture, les mesures concernant l'étale n'apparaissent pas sur les courbes.

Une fois enlevées les lectures à l'étale (valeurs surlignées en gris dans le tableau), les graphiques montants auraient dû démarrer à 6h10, mais nous avons constaté un saut étonnant et que nous ne sommes pas arrivés à expliquer sur les lectures à la sonde entre 6h30 et 6h50 (lignes 21 et 22, valeurs en rouge). Du coup, nous n'avons pas tenu compte non plus des lignes 20 et 21 (valeur surlignées en vert olive), même si la plage montante, qui n'était déjà pas très large en raison du jour choisi, se trouve en conséquence réduite à la portion congrue.

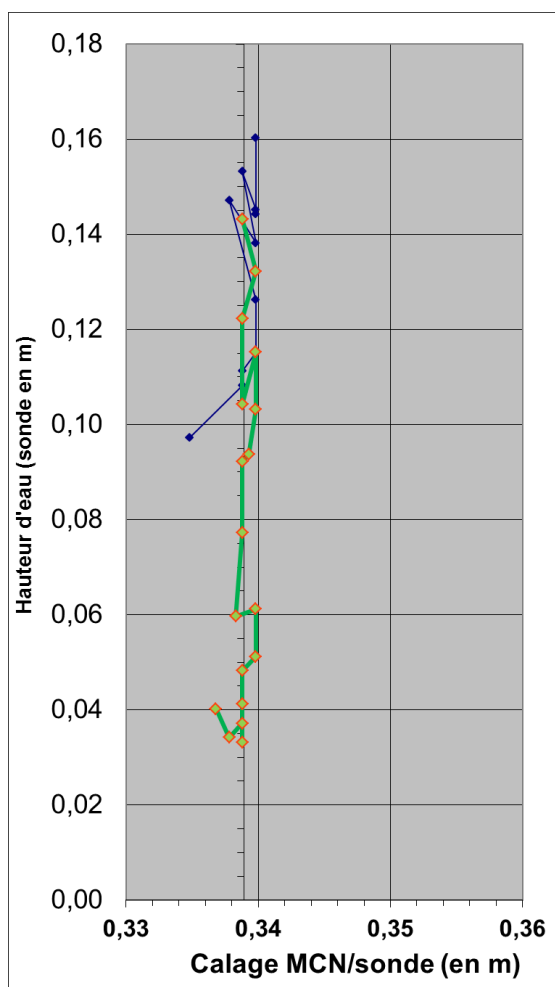


Diagramme n°1

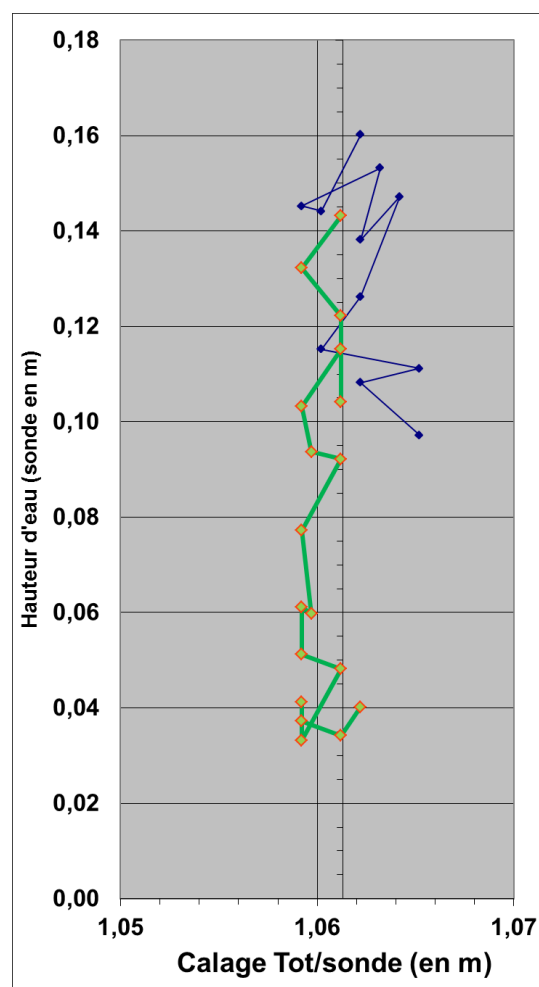


Diagramme n°2

Le diagramme n°1 montre les très bonnes performances du MCN, les écarts étant bien en-dessous du centimètre. Le très léger facteur d'échelle (pente de la courbe) observé janvier 2013, semble avoir disparu.

Le calage de l'appareil est très proche du calage idéal matérialisé par l'échelle graduée noire.

Le diagramme n°2 montre aussi les très bonnes performances globales du marégraphe totalisateur, les écarts étant là aussi bien en-dessous du centimètre. L'appareil est à la fois précis (très peu de dispersion en marée descendante, un peu plus en marée montante) et juste (ligne droite sur la plage de mesure).

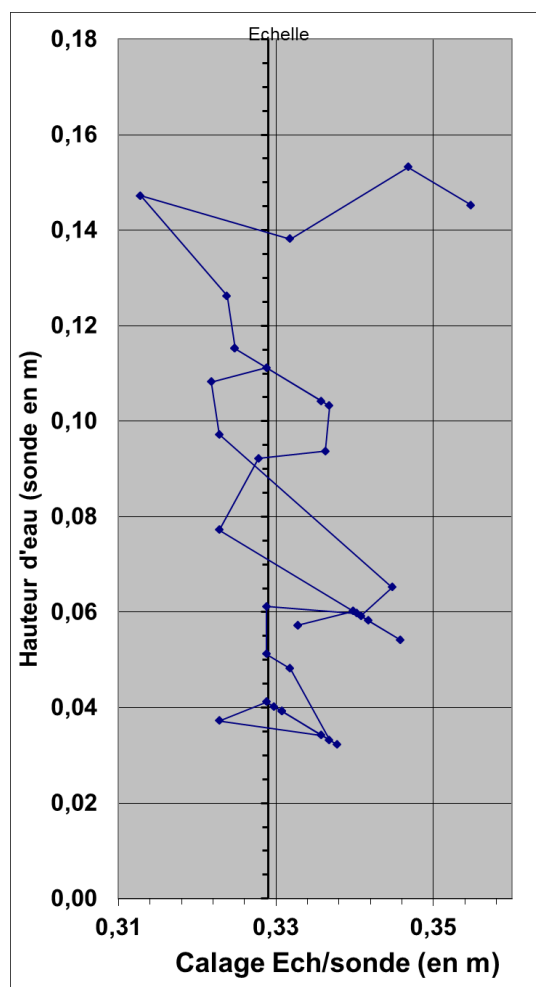
Un léger hystérésis est peut-être décelable (décalage entre les courbes descendante-verte et montante-bleue), et peut-être aussi plus de frottements en marée montante (dispersion plus grande sur la courbe bleue), mais l'étroitesse de la plage montante (6 centimètres seulement sur la courbe bleue) relativise ces deux hypothèses.

L'écart totalisateur-sonde (1.0613 m) est très différent de ce qu'il était avant le nettoyage de la galerie. Ceci est dû à un engrenage différent des pignons de la grande roue sur la crémaillère (les pignons avaient été désolidarisés de la crémaillère au moment de l'enlèvement du flotteur du puits pour le nettoyage de la galerie). La variation de cet écart ne pose pas trop de problème puisqu'il est mesuré et que l'on peut tenir compte du nouveau réglage dans le calcul du niveau moyen fourni par le totalisateur.

De manière tout à fait exceptionnelle, il a été possible lors de ce test d'effectuer des mesures sur l'échelle de marée implantée à l'extérieur de l'observatoire, à l'entrée de la galerie d'amenée d'eau et de tranquillisation (pour cause de mer trop agitée, ceci n'avait pu se faire depuis une dizaine d'années).

### Diagramme n°3

Le diagramme n°3 montre que malgré la dispersion des mesures à l'échelle, celle-ci est bien calée (0,333 m sur ce test pour un calage théorique de 0,329 m), et surtout que les hauteurs d'eau dans le puits sont cohérentes avec celles de l'extérieur. La galerie a donc été bien nettoyée et une galerie bien nettoyée n'introduit pas de décalage entre le niveau extérieur et le niveau dans le puits (malgré la complexité de l'ouvrage).



Les constantes d'étalonnage des instruments déterminées le 13 juin 2013 figurent dans le *tableau 2*.

<b>13 juin 2013</b>	Méthode n°1	Méthode n°2
Marégraphe mécanique	<b>1,0613 ± 0,0006 m</b>	<b>1,0589 ± 0,0008 m</b>
MCN / NGF69	<b>0,3389 ± 0,0006 m</b>	<b>0,3409 ± 0,0008 m</b>

*Tableau 2 : constantes de calage du 13 juin 2013*

La méthode n°1 pour déterminer les constantes tient compte de l'asymétrie diurne de la marée à Marseille qui permet plus de mesures au descendant qu'au montant. En raison du possible hystérésis du marégraphe historique, et pour ne pas que la série ayant le plus de mesures ait un poids supérieur, la moyenne de chaque série est calculée et la constante est la moyenne de ces deux valeurs. La méthode numéro n°2 est simplement la moyenne de toutes les mesures hors étales.

Les écarts se répartissent de façon aléatoire autour de la valeur moyenne et les deux méthodes donnent ainsi des résultats très similaires pour le marégraphe mécanique.

Pour un souci de cohérence avec les contrôles précédents, nous retiendrons la valeur de la méthode n°1 pour le marégraphe mécanique :  $1,0613 \pm 0,0006$  m (pour mémoire la dernière détermination du 9 février 2013 était :  $1,2771 \pm 0,0005$  m) et pour le MCN, celle de la méthode n°2 :  $0,3409 \pm 0,0008$  m cet instrument n'ayant a priori pas d'hystérésis.

La variation de constante de calage du marégraphe totalisateur a déjà été expliquée plus haut. Toute intervention sur une partie matérielle du marégraphe entraîne inévitablement un changement de constante.

La constante de calage du MCN diffère de 12 mm du calage idéal dans la référence de l'observatoire (0,329 m) au lieu de 2 mm en 2010, 6 mm en janvier 2011 et 9 mm en février 2013. Cet écart de 12 mm reste encore acceptable, mais son augmentation progressive doit être surveillée. Si l'augmentation continue, il faudra se résoudre à recalibrer l'appareil.

Le diagramme n°4 représente le marégraphe tracé selon les prédictions du SHOM et celui issu des mesures à la sonde lumineuse dans le puits.

Pas de déphasage visible. L'amplitude mesurée est similaire à celle qui était prédite. La galerie, après nettoyage ne semble donc pas avoir d'influence sur le niveau de l'eau dans le puits.

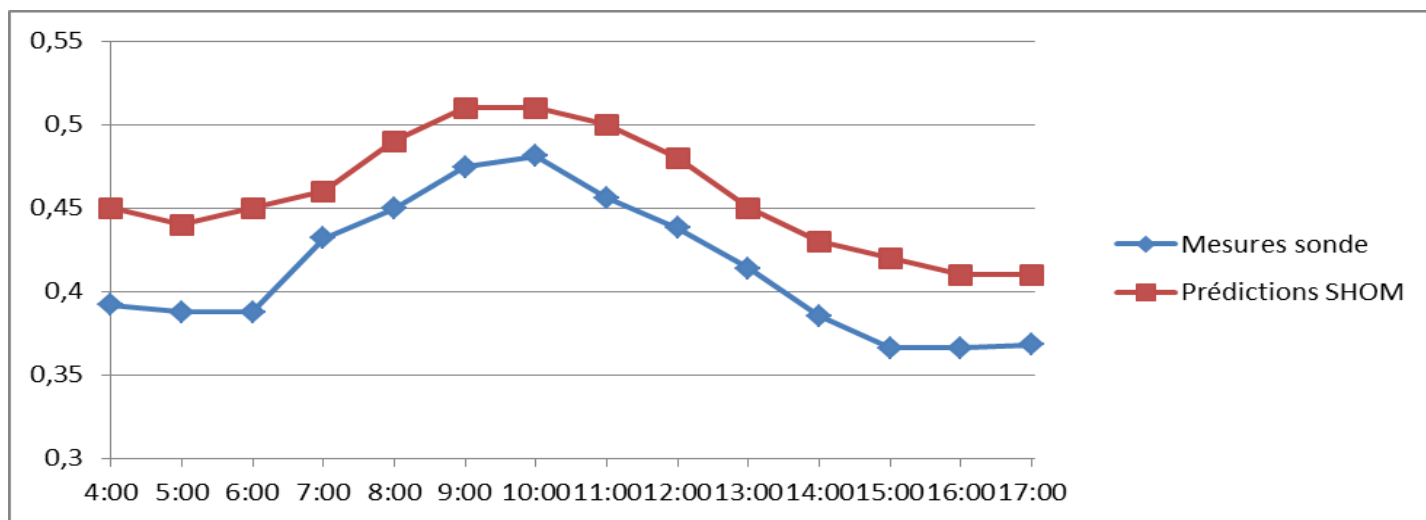


Diagramme n°4 : marégrammes du 13 juin 2013 issus des mesures à la sonde et des prédictions du SHOM

## 4. Conclusion et actions à envisager

Le calendrier imposé pour cette opération a fait que la plage de mesure testée est très réduite.

Mais dans cette plage de mesure, les deux instruments donnent des résultats très acceptables.

De façon tout à fait exceptionnelle, il a été possible de réaliser des mesures à l'échelle de marée qui ont permis de vérifier qu'il n'y a pas de déphasage entre l'extérieur et le puits.

Suite au remplacement du fil de suspension du flotteur en 2011, le marégraphe totalisateur ne montre plus de défaut d'hystérésis.

Concernant le MCN, l'écart de calage a encore augmenté de 3 mm depuis le contrôle de février 2013, pour atteindre 12 millimètres. Cet écart reste encore acceptable, mais son augmentation progressive doit être surveillée. Pour cela le prochain test de Van de Castele est programmé en mars 2014.

## 5. Références

Documents de référence non cités dans le texte ci-dessus :

- Contrôle des marégraphe de l'observatoire de Marseille – A. Coulomb – IT/G 276, version 2, 15/12/2010
- The Van de Castele test revisited : an efficient approach to tide gauge error characterization – Journal of Atmospheric and Oceanic Technologies – B. Martin Miguez, L. Testut, G. Wöppelmann – 2008 (archive IGN/SGN 1001306).
- Fiche d'observatoire de marée de Marseille – SHOM n°1588 du 25/07/2005 et mise à jour le 20/10/2006.

## 6. Annexes

### 6.1. Annexe 1 – Tableau des mesures à la sonde lumineuse

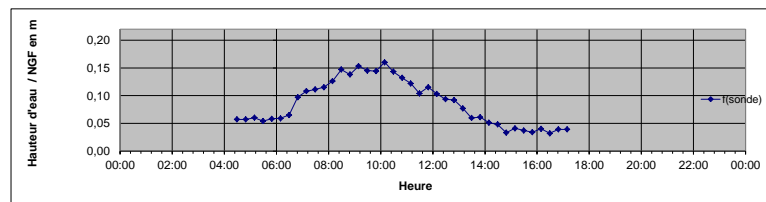
Hauteur index / IGN69 (N)	2,59620	Constante sonde + ruban	0,51330	13/06/2013	3,1096	Opérat./Mat. Repère	Opérat./Mat. Repère
Hauteur index / IGN69 (H)	0,46530 (21 février 2013)					0,4653	1,7864
Constante a sonde IGN	0,04800					0,0480	1,3232
Constante b sonde IGN							1,3230
Le 13/06/2013						Moyenne :	2,59620
Sonde n°3						Hauteur index	3,1096
Ruban							3,1094

N : Méthode niveau  
H : Méthode règle d'horizontalité  
Centrale MCN MARELTA NG SN/08.0027 + capteur radar Krohne Optiflex 1300C SN/144399316010001  
Intégration du MCN sur 3s

Heure UTM	Heure vraie	Sonde IGN	Opérateur	Réglette	Opérateur	MCN	h(mcn) Reimar	Echelle	Clapot	Opérateur	f(sonde)	h(tot)	h(mcn)	h(ech)	COMMENT
04:30	04:29	2,5390	J.M.	0,9910	Alain	0,4130	0,410	0,39	0,10	Thomas	0,0572	1,0482	0,3528	0,3328	sommet graduation rouge = 0.50 m
04:50	04:49	2,5390	J.M.	0,9970	Alain	0,4000	0,401	0,39	0,10	Thomas	0,0572	1,0542	0,3438	0,3328	
05:10	05:09	2,5390	J.M.	0,9920	Alain	0,4090	0,407	0,40	0,10	Thomas	0,0602	1,0522	0,3468	0,3398	
05:30	05:29	2,5420	J.M.	0,9960	Alain	0,4020	0,403	0,40	0,10	Thomas	0,0542	1,0502	0,3488	0,3458	
05:50	05:49	2,5390	J.M.	0,9880	Alain	0,4110	0,412	0,40	0,10	Thomas	0,0582	1,0482	0,3538	0,3418	
06:10	06:09	2,5370	J.M.	0,9860	Alain	0,4110	0,413	0,40	0,10	Thomas	0,0592	1,0452	0,3538	0,3408	
06:30	06:29	2,5310	J.M.	0,9830	Alain	0,4190	0,418	0,41	0,10	Thomas	0,0652	1,0492	0,3528	0,3448	
06:50	06:49	2,4990	J.M.	0,9880	Alain	0,4340	0,432	0,42	0,10	Thomas	0,0972	1,0652	0,3348	0,3228	
07:10	07:09	2,4880	J.M.	0,9540	Alain	0,4490	0,447	0,43	0,10	Thomas	0,1082	1,0622	0,3388	0,3218	
07:30	07:29	2,4850	J.M.	0,9540	Alain	0,4520	0,450	0,44	0,15	Thomas	0,1112	1,0652	0,3388	0,3288	branchement différent du routier
07:50	07:49	2,4810	J.M.	0,9450	Alain	0,4540	0,455	0,44	0,15	Thomas	0,1152	1,0632	0,3398	0,3248	
08:10	08:09	2,4700	J.M.	0,9360	Alain	0,4660	0,466	0,45	0,15	Thomas	0,1262	1,0622	0,3398	0,3238	
08:30	08:29	2,4490	J.M.	0,9170	Alain	0,4830	0,485	0,46	0,15	Thomas	0,1472	1,0642	0,3378	0,3128	
08:50	08:49	2,4580	Thomas	0,9240	Alain	0,4780	0,478	0,47	0,15	Thomas	0,1382	1,0622	0,3398	0,3318	
09:10	09:09	2,4430	Alain	0,9100	Thomas	0,4920	0,492	0,50	0,15	Thomas	0,1532	1,0632	0,3388	0,3488	
09:30	09:29	2,4510	Alain	0,9140	Thomas	0,4940	0,495	0,50	0,15	Thomas	0,1452	1,0592	0,3398	0,3548	
09:50	09:49	2,4520	Alain	0,9160	Thomas	0,4830	0,484			NON	0,1442	1,0602	0,3398		
10:10	10:09	2,4360	J.M.	0,9020	Alain	0,4990	0,500			NON	0,1602	1,0622	0,3398		
10:30	10:29	2,4530	Thomas	0,9180	Alain	0,4820	0,482			NON	0,1432	1,0612	0,3388		
10:50	10:49	2,4640	J.M.	0,9270	Thomas	0,4710	0,472			NON	0,1322	1,0592	0,3398		
11:10	11:09	2,4740	Thomas	0,9390	Alain	0,4630	0,461			NON	0,1222	1,0612	0,3388		
11:30	11:29	2,4920	Thomas	0,9570	Alain	0,4450	0,443	0,44	0,10	Thomas	0,1042	1,0612	0,3388	0,3358	
11:50	11:49	2,4810	Thomas	0,9460	Alain	0,4560	0,455	0,44	0,10	Thomas	0,1152	1,0612	0,3398	0,3248	
12:10	12:09	2,4930	Thomas	0,9560	Alain	0,4430	0,443	0,44	0,10	Thomas	0,1032	1,0592	0,3398	0,3368	
12:30	12:29	2,5025	Alain	0,9600	Thomas	0,4330	0,433	0,43	0,10	Thomas	0,0937	1,0597	0,3393	0,3363	
12:50	12:49	2,5040	Thomas	0,9690	Alain	0,4310	0,431	0,42	0,10	Thomas	0,0922	1,0612	0,3388	0,3278	
13:10	13:09	2,5190	Thomas	0,9820	Alain	0,4220	0,416	0,40	0,10	Alain	0,0772	1,0592	0,3388	0,3228	
13:30	13:29	2,5365	Alain	1,0000	Thomas	0,3980	0,398	0,40	0,10	Thomas	0,0597	1,0597	0,3383	0,3403	
13:50	13:49	2,5350	J.M.	0,9980	Alain	0,4000	0,401	0,39	0,10	Thomas	0,0612	1,0592	0,3398	0,3298	
14:10	14:09	2,5450	Thomas	1,0080	Alain	0,3900	0,391	0,38	0,10	Alain	0,0512	1,0592	0,3398	0,3288	
14:30	14:29	2,5480	J.M.	1,0130	Thomas	0,3880	0,387	0,38	0,10	Alain	0,0482	1,0612	0,3388	0,3318	
14:50	14:49	2,5639	Thomas	1,0260	Alain	0,3790	0,372	0,37	0,08	Alain	0,0332	1,0592	0,3388	0,3368	
15:10	15:09	2,5550	J.M.	1,0180	Thomas	0,3780	0,380	0,37	0,10	Alain	0,0412	1,0592	0,3398	0,3298	
15:30	15:29	2,5590	Thomas	1,0220	Alain	0,3740	0,376	0,36	0,08	Thomas	0,0372	1,0582	0,3388	0,3228	
15:50	15:49	2,5620	Thomas	1,0270	Alain	0,3740	0,372	0,37	0,08	Alain	0,0342	1,0612	0,3378	0,3358	
16:10	16:09	2,5580	J.M.	1,0220	Thomas	0,3790	0,377	0,37	0,08	Alain	0,0402	1,0622	0,3368	0,3298	
16:30	16:29	2,5640	J.M.	1,0280	Thomas	0,3740	0,371	0,37	0,08	Alain	0,0322	1,0602	0,3388	0,3378	
16:50	16:49	2,5570	J.M.	1,0220	Thomas	0,3770	0,377	0,37	0,06	Alain	0,0392	1,0612	0,3378	0,3308	
17:10	17:09	2,5570	J.M.	1,0220	Thomas	0,3790	0,377	0,37	0,06	Alain	0,0392	1,0612	0,3378	0,3308	

Rappel 2000	1,2743	0,3441	0,3328	
Rappel 2001	1,2755	0,3321		
Rappel 2002	1,2776	0,323		
Rappel 2003	1,2763	0,3357		
Rappel 2004	1,2763	0,3357		
Rappel 2005	1,2754	0,3346		
Rappel 2006	1,2742	0,3267		
Rappel 2007	1,2746	0,3239		
Rappel 2008	1,2735	0,3259		
Rappel 06/04/2009	1,2724	0,3225		
Rappel 08/04/2009	1,2730	0,3040		
Rappel 29/06/2010	1,2735	0,3311		
Rappel 05/01/2011	1,2766	0,3356		
Rappel 09/02/2013	1,2771	0,3379		
Méthode n°2	Moyenne:	09/02/2013	1,0589	0,3409
	Ecart-type:		0,0050	0,0049
	Erreur sur moyenne:		0,0098	0,0098

	Méthode n°1		
	Montant	Descendant	Moyenne
MCN	0,3389	0,3389	0,3389
écart-type	0,0013	0,0026	0,0017
erreur/moyen	0,0004	0,0002	0,0004
Totalisateur	1,0624	1,0602	1,0613
écart-type	0,0020	0,0011	0,0023
erreur/moyen	0,0005	0,0002	0,0005



## 6.2. Annexe 2 – Constats de vérification et d'étalonnage de la sonde lumineuse

Institut National de l'Information  
Géographique et Forestière  
Service de Géodésie et Nivellement  
Unité des Réseaux matérialisés



Imprimé PMR-ERQ-12 édition A du 01/01/2012

CONSTAT DE VERIFICATION EQUIPEMENT DE ME SURE DIMENSIONNELLE SONDES DE MAREGRAPHIE		Procédure : PMR-PPAO-1
N° IGN/SGN : <b>Numéro de constat 1202</b>		Date : 18/03/2013
Vérificateur : Daniel BERENGUER	Chef d'unité PMR : A. COULOMB	Conclusion : CONFORME
Type : Sonde de marégraphie N° PMR : 20101	Désignation : Sonde de marégraphie : Tube de diamètre 45 mm en trois éléments longs de 350 mm et un bras de suspension	Date d'étiquetage : 18/03/2013
Etat général :	Bouton :	
Led :	Pointe :	
Contact :	Joint :	

Commentaire : Extrémité de la pointe à la bague écrou côté supérieur du bras, par

Institut National de l'Information  
Géographique et Forestière  
Service de Géodésie et Nivellement  
Unité des Réseaux matérialisés



Imprimé PMR-ERQ-20 édition A du 01/01/2012

CONSTAT D'ETALONNAGE EQUIPEMENT DE ME SURE DIMENSIONNELLE SONDES DE MAREGRAPHIE		Procédure : PMR-PPAQ-1
N° IGN/SGN : <b>Numéro de constat 1264</b>		Date : 18/03/2013
Vérificateur : D. BERENGUER	Chef d'unité PMR : A. COULOMB	Conclusion : CONFORME
Type : Sonde de marégraphie N° PMR : 20101	Désignation : Sonde de marégraphie : Tube de diamètre 45 mm en trois éléments longs de 350 mm et un bras de suspension	Date d'étiquetage : 25/10/2013
<b>E tude effectuée :</b> Mesure de la distance entre l'extrémité de la pointe et la surface supérieure de <b>Méthode utilisée :</b> Cathétomètre Wid <b>T empérature :</b> 24°C		
<b>VALEUR DE L'ETALONNAGE :</b> 465,30 mm		

Commentaire :



### 6.3. Annexe 3 – Nettoyage de la galerie

Les travaux ont été réalisés par la société « Sous Marine Services », avec des moyens matériels bien moins importants que ceux qui avaient été mobilisés en 2010 et, en conséquence, pour un coût bien inférieur.

#### SOUS MARINE SERVICES

19 quai de Rive Neuve

13007 Marseille.

Tél : 04 91 33 28 51

Ces moyens se sont révélés suffisants pour une opération de routine réalisée tous les trois ans et pourront donc être remis en œuvre en 2016.

A noter que l'opération a montré que la fermeture de la porte extérieure de la galerie avait été mal faite en 2010 (morceau de corde intercalée entre la plaque métallique et le cadre sur lequel elle doit être appliquée). De ce fait, l'eau ne rentrait pas seulement dans la galerie par les trous prévus à cet effet, mais aussi, par forte houle, par le haut de la porte. Première conséquence, le niveau de l'eau dans la galerie était peut-être trop haut depuis trois ans (apport d'eau plus massif que prévu, peut-être difficile à compenser par des sorties limitées par le diamètre des trous de la porte).

Deuxième conséquence, la galerie était encombrée de déchets qui n'auraient pas dû s'y trouver car plus gros que les trous pratiqués dans le bas de la porte.



### 6.4. Annexe 4 – Travaux divers

#### Mise en place d'une sonde météo

Le marégraphe est maintenant physiquement équipé d'une sonde météo depuis le 11 juin 2013 mais les fichiers de données (température de l'air, pression atmosphérique, humidité de l'air) n'arrivent pas sur les machines du RGP à Saint-Mandé. Régler ce problème lors de la prochaine mission sur place.

#### Réfection du câble de l'antenne RGP



Le câble reliant le récepteur à l'antenne de la station GNSS permanente, entaillé dans sa partie extérieure, sur le toit du bâtiment technique du marégraphe, a été réparé (voir ci-contre, photos



« avant » et « après »).

### Tuyau d'arrosage

Afin de ranger dans de bonnes conditions de conservation le tuyau d'arrosage acheté lors d'une mission précédente, une jante de voiture a été fixée au mur, à l'intérieur de la remise située sous la terrasse d'accès à l'observatoire.



### Peinture de l'escalier en colimaçon

Les travaux de peinture de l'escalier en colimaçon donnant accès à la chambre souterraine, commencés en février 2013, ont été terminés avant l'ouverture au public, prévue pour les journées du patrimoine en septembre prochain.

### Confection d'un plancher

Afin de pouvoir travailler en toute sécurité au-dessus du puits et



se prémunir des chutes d'objets dans le puits (notamment des chutes de gravats dû à la lente dégradation des parois supérieures du puits), un



plancher a été fabriqué et installé au niveau de la margelle inférieure. En position fermée, ce plancher est surmonté d'un disque en contreplaqué renforçant encore la stabilité de la couverture. Ce disque peut être enlevé sans toucher aux fils, en soulevant la partie opposée à la porte en bronze.