

# CAMPAGNE DE NIVELLEMENT ET D'OBSERVATIONS GPS AU FORT BOYARD (CHARENTE-MARITIME) Juillet - Août 2009

Thomas GOURIOU<sup>(1)</sup>, Pascal TIPHANEAU et Guy WÖPPELMANN



<sup>(1)</sup> auteur correspondant : [thomas.gouriou@univ-lr.fr](mailto:thomas.gouriou@univ-lr.fr)

# SOMMAIRE

<b>1. Contexte et objectifs</b> .....	3
<b>2. Organisation de la campagne</b>	
2.1. Contacts	
2.2. Matériel emporté.....	4
2.3. Déroulement des missions	
<b>3. Présentation du site</b> .....	5
3.1. Localisation	
3.2. Description des repères	
<b>4. Campagnes antérieures de mesures</b> .....	11
4.1. Relation entre les zéros NGF	
4.2. Détermination du zéro hydrographique	
4.3. Cote des repères du fort Boyard en 1878.....	12
4.4. Nivellement du SHOM en 1960.....	13
4.5. Historique du repère O.O.P3 - 79	
<b>5. Mesures et résultats</b> .....	14
5.1. Positionnement par GPS	
5.2. Nivellement des différents repères.....	16
<b>6. Discussion et conclusion</b> .....	17
<b>Références</b> .....	19
<u>Annexe 1</u> : Comparaison entre les systèmes NGF Bourdalouë, Lallemand et IGN69.....	20
<u>Annexe 2</u> : Compte-rendu de la mission du 20 juillet 2009.....	21
<u>Annexe 3</u> : Diagramme de l'antenne GPS TPSPG_A1+GP.....	28
<u>Annexe 4</u> : Résultats des calculs GPS par la méthode PPP.....	29
<u>Annexe 5</u> : Détail des mesures de nivellement.....	30

## LISTE DE DIFFUSION

### Externe :

- Eric BURON, directeur de production de l'émission de télévision « Fort Boyard », ALP
- Jean-Pierre CHAUDET, 3<sup>e</sup> adjoint à la mairie de l'île d'Aix
- Alain COULOMB, responsable du département de nivellement, SGN/IGN
- Ronan CREACH, chef de projet RONIM, SHOM
- Laurent FAZILLEAU, régie maritime de l'émission de télévision « Fort Boyard », ALP
- Didier LORIOU, direction de la mer et de la coopération, Conseil Général de la Charente-Maritime
- Lucia PINEAU-GUILLOU, cellule hydrodynamique côtière, SHOM
- Jean-Claude POISSON, conseiller municipal à la mairie de l'île d'Aix
- Nicolas POUVREAU, coordinateur national des mesures du niveau de la mer, SHOM

### Interne :

- Thomas GOURIOU, chercheur doctorant, UMR 6250 LIENSs
- Pascal TIPHANEAU, adjoint technique, UMR 6250 LIENSs
- Guy WÖPPELMANN, maître de conférences, UMR 6250 LIENSs
- Archives UMR 6250 LIENSs

# 1. Contexte et objectifs

Cette campagne de mesures au fort Boyard entre dans le cadre d'une thèse de doctorat, dont le sujet est l'évolution des composantes du niveau de la mer depuis le milieu du 19<sup>e</sup> siècle sur le littoral charentais. Ces travaux de recherche sont, en partie, financés par le Conseil Général de la Charente-Maritime.

Les estimations de la remontée générale du niveau de la mer, de l'ordre de 12 à 22 cm sur le siècle dernier [Bindoff *et al.*, 2007], masquent une réalité très variable d'une région à l'autre. Qu'en est-il des côtes du littoral charentais ? Des séries temporelles de plus de 50 ans sont indispensables pour tirer des tendances à long terme sur les composantes du niveau marin : niveau moyen de la mer, niveaux extrêmes, ondes de marée et effets météorologiques [e.g. Cartwright, 1972 ; Douglas, 1991 ; Bouligand et Pirazzoli, 1999]. Or il existe de nombreuses séries d'enregistrements marégraphiques le long du littoral charentais : île d'Aix (1824), fort Enet (1859-1873), fort Boyard (1873-1909), etc. [Gouriou *et al.*, 2008 ; Pouvreau, 2008].

Il est donc possible d'obtenir une série marégraphique unique de plus de 50 ans pour la rade de Rochefort, à partir des mesures réalisées à Aix, Enet et Boyard. Pour cela, il faut replacer toutes ces mesures dans un même référentiel de temps (Temps Universel) et de hauteur. Il faut également s'assurer que les trois sites, Aix, Enet et Boyard, aient été stables au cours du temps, c'est-à-dire que l'un de ces sites n'ait pas subi de mouvements verticaux de la croûte terrestre par rapport aux deux autres.

Nous avons retrouvé, dans les centres d'archives, plusieurs documents faisant référence à des études de nivellement réalisées depuis le début du 19<sup>e</sup> siècle dans la rade de Rochefort. Il sera donc possible de comparer ces résultats aux résultats obtenus aujourd'hui afin de vérifier la stabilité de ces trois sites.

Les objectifs sont donc multiples : après avoir retrouvé les repères de marée historiques au fort Boyard, il faudra vérifier leur stabilité dans le temps en comparant nos résultats aux résultats passés et vérifier également la stabilité du fort Boyard par rapport au fort Enet.

## 2. Organisation de la campagne

### 2.1. Contacts

- **Eric BURON** : directeur de production de l'émission de télévision « Fort Boyard », ALP  
E-mail : eric.buron@alp.tv
- **Didier LORIOU** : direction de la mer et de la coopération, Conseil Général de la Charente-Maritime  
E-mail : didier.lorieu@cg17.fr
- **Lucien BARON** : chef d'entreprise, société « Le Scaphandre »  
E-mail : contact@le-scaphandre.com
- **Laurent FAZILLEAU** : régie maritime de l'émission de télévision « Fort Boyard », ALP  
E-mail : l.fazilleau@gmail.com

## 2.2. Matériel emporté

• **le lundi 20 juillet 2009** : - *installation d'une station GPS*

- 1 trépied aluminium LEICA
- 1 embase avec plomb optique
- 1 mallette TOPCON "GB-1000 UNAVCO package" contenant :
  - 1 récepteur "TOPCON GB-1000" SN/T225780 (désignation IGS : TPS GB-1000), firmware : 3.3, Dec,22,2008 p6
  - 1 antenne "TOPCON PG-A1 with Groundplane" SN/310-0965 (désignation IGS : TPSPG\_A1+GP)
- 1 boulon en alliage de bronze avec marque de centrage
- 1 batterie BOSCH Silver, 12 V, 74 Ah
- 1 panneau solaire
- 1 boîte à outils
- outillage divers (perceuse, pâte à scellement chimique, rallonge électrique etc.)

• **le jeudi 20 août 2009** : - *désinstallation d'une station GPS*  
- *nivellement géométrique*

- 1 trépied aluminium LEICA (*déjà sur place*)
- 1 embase avec plomb optique (*déjà sur place*)
- 1 niveau optique Leica NA2
- 1 mire télescopique en aluminium, de 1 à 3 mètres
- 2 embases crapauds
- 1 ordinateur portable
- 1 cahier de nivellement

## 2.3. Déroulement des missions

• **le lundi 20 juillet 2009** (Emmanuel BARDIERE, Eva COUGNON, Thomas GOURIOU) :

**07h** : départ de l'Institut du Littoral et de l'Environnement direction Pointe de la Fumée (Fouras)

**07h45** : rendez-vous avec Eric BURON à l'embarcadère de la Pointe de la Fumée

**08h30** : arrivée, à bord du *Sea Surfer*, au fort Boyard

**09h - 10h30** : installation de la station GPS et recherche des anciens repères de nivellement

**11h** : départ du fort Boyard

• **le jeudi 20 août 2009** (Emmanuel BARDIERE, Thomas GOURIOU, Pascal TIPHANEAU) :

**08h** : départ de l'Institut du Littoral et de l'Environnement direction Pointe de la Fumée (Fouras)

**08h45** : rendez-vous avec Eric BURON à l'embarcadère de la Pointe de la Fumée

**09h30** : arrivée, à bord d'un zodiac (5,3 mètres de longueur), au fort Boyard

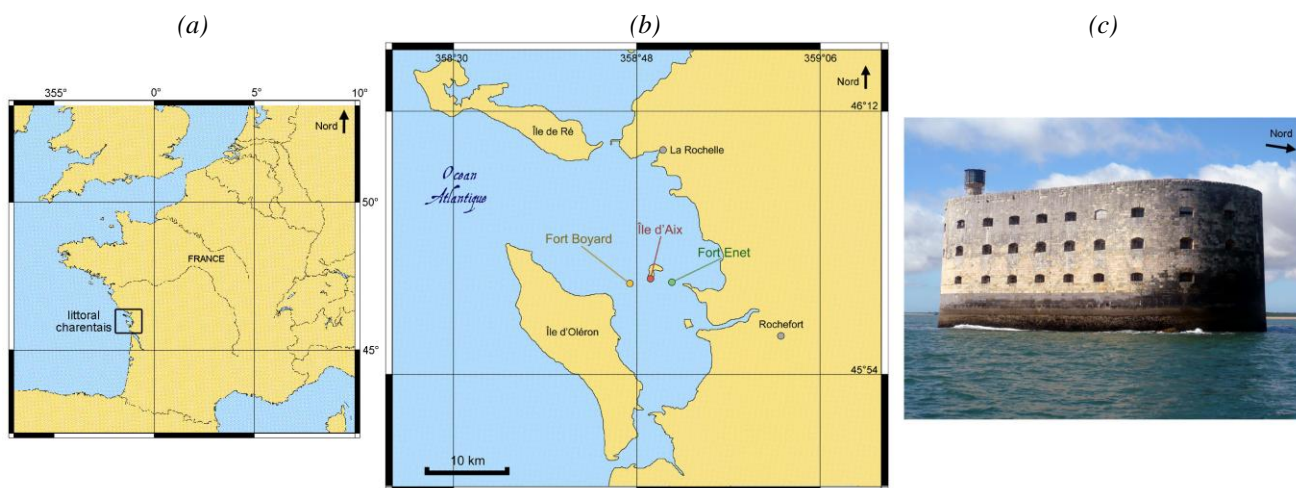
**10h15 - 12h** : désinstallation de la station GPS et nivellement géométrique

**12h30** : départ du fort Boyard

## 3. Présentation du site

### 3.1. Localisation

Le fort Boyard est situé sur la façade atlantique française, à l'intérieur des pertuis charentais, dans le département de la Charente-Maritime (17). Il se trouve à une distance d'environ 3,15 km de la jetée Sainte Catherine de l'île d'Aix et à environ 5,5 km du fort Enet (*schéma 1*). Le fort, situé sur la commune de l'île d'Aix, est une propriété du Conseil Général de la Charente-Maritime et est loué à la société « *Adventure Line Productions* » (ALP) pour la réalisation d'émissions de télévision.



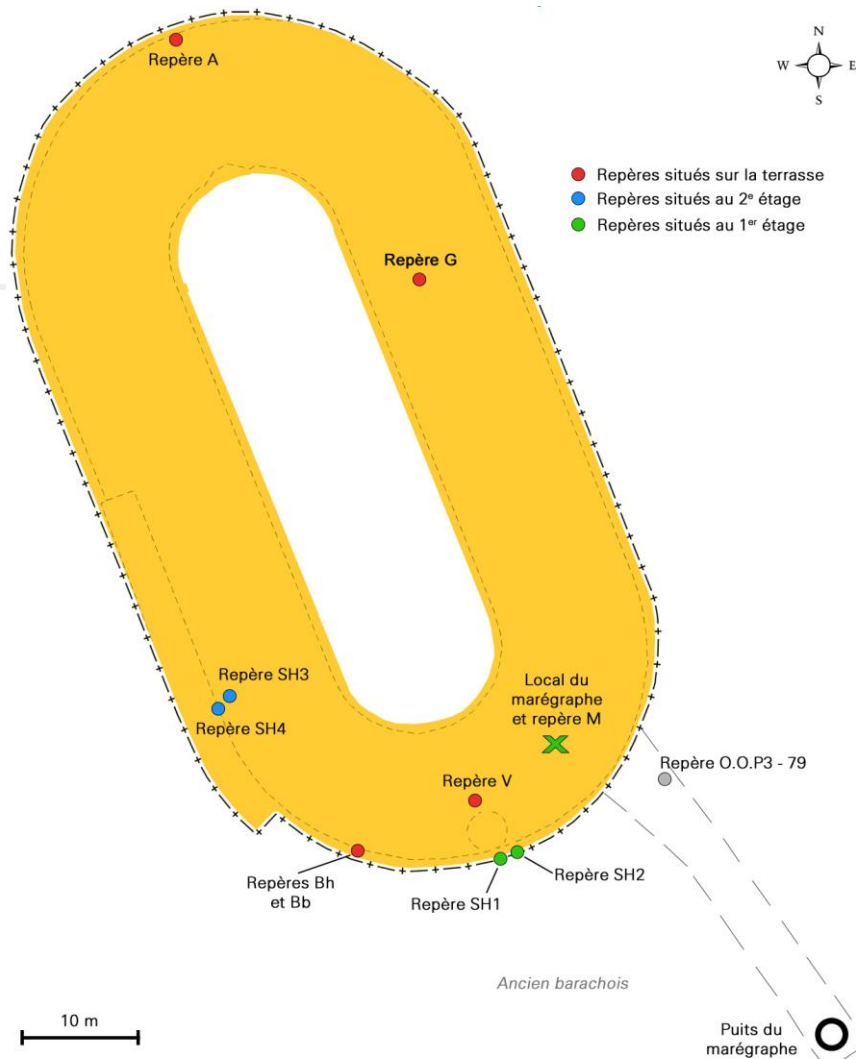
*schéma 1* : (a) carte de la France avec localisation du littoral charentais ; (b) carte du littoral charentais avec localisation du fort Boyard ; (c) photo du fort Boyard

### 3.2. Description des repères

Comme nous le verrons dans le prochain chapitre, plusieurs campagnes de mesure ont eu lieu au fort Boyard depuis le 19<sup>e</sup> siècle. Au cours de ces campagnes, différents repères ont été choisis et cotés. Après une première vue d'ensemble (*schémas 2 et 3*), nous allons détailler chacun de ces repères.



*schéma 2* : localisation des différents repères répertoriés au fort Boyard : photo de Philippe Dufour, 2008



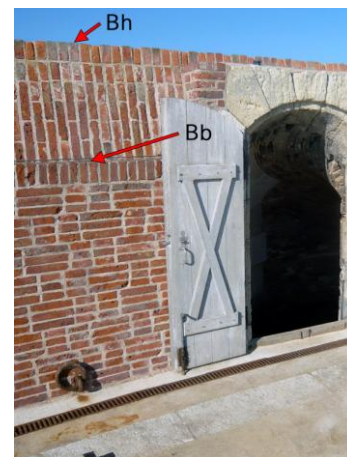
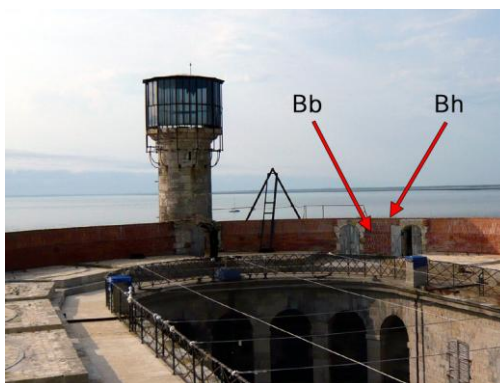
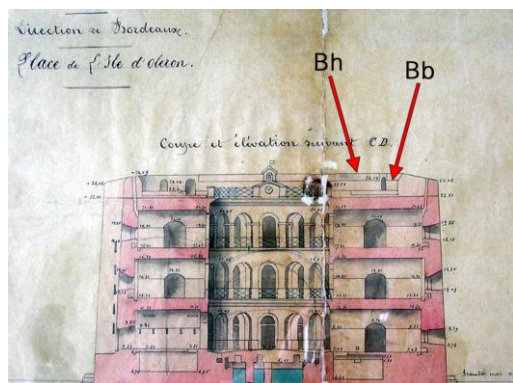
*schéma 3 : localisation des différents repères répertoriés au fort Boyard :  
fond de carte provenant du site internet du plan cadastral français (<http://cadastre.gouv.fr>)*

<b>Repère A (détruit)</b>		
<b>1957</b>	<b>1966</b>	<b>2009</b>
<p><b>Description de l'IGN en 1957 :</b> Bâtiment : repère en bronze scellé dans la partie supérieure. <i>Altitude normale : 23,85 m NGF-IGN69 avec une précision décimétrique.</i></p>		

## Repères Bb et Bh (existants)

1878

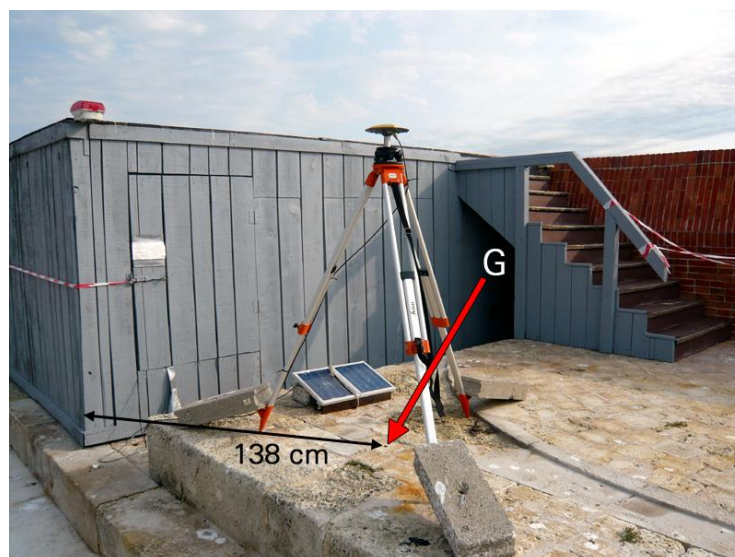
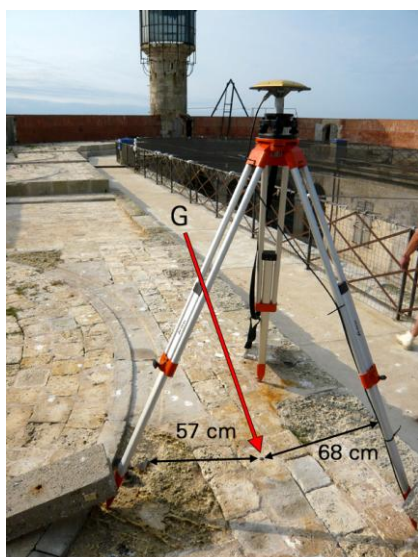
2009



**Description :** Le repère Bh correspond au sommet du mur de brique qui longe la terrasse du fort. Le repère Bb correspond lui au dessus du rebord situé à mi-mur. Le mur de brique de la terrasse a été presque entièrement reconstruit suite au rachat du fort Boyard par le Conseil Général de la Charente-Maritime. Seule une petite portion du mur initial a été conservée, comme mur témoin. Il s'agit de la partie du mur située entre les deux portes, au sud du fort. Altitudes en 1878 : Bh = 24,69 m et Bb = 24,04 m (NGF-Bourdalouë).

## Repère G (existant)

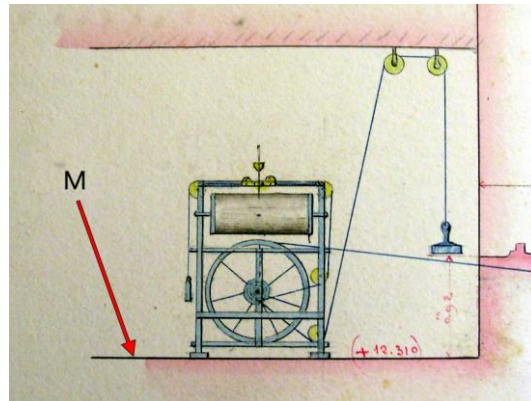
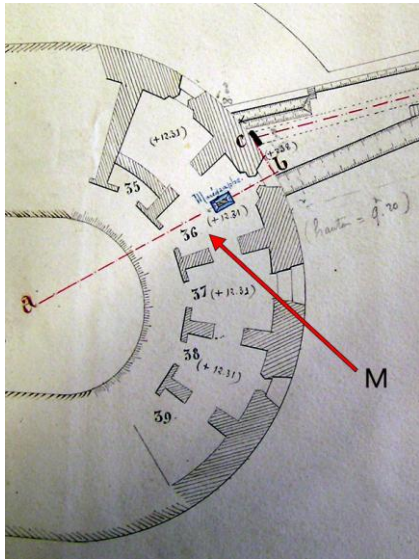
2009



**Description :** boulon en alliage de bronze (comportant une marque de centrage) scellé par une équipe de l'UMR LIENSs le 20 juillet 2009, à proximité de l'héliport, sur la terrasse du fort, au nord-est. Il est situé à 68 cm du bord ouest, 57 cm d'un bout de métal scellé et 138 cm de l'angle sud-ouest de l'abri gris.

## Repère M (existant)

**1878**



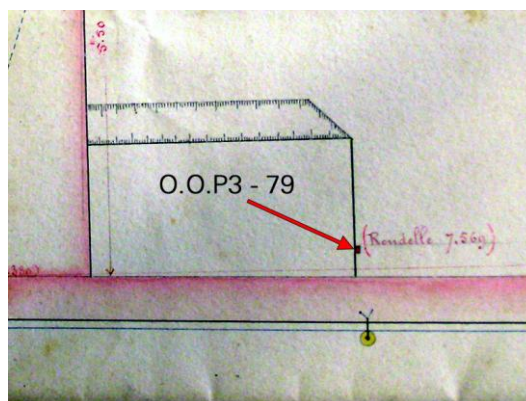
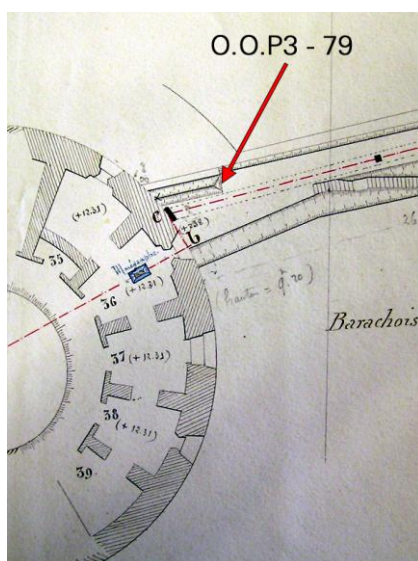
**2009**



**Description :** le repère M correspond au sol de la casemate dans laquelle était installé le marégraphe de 1873 à 1909. Cette casemate (numéro 118) est située au 1<sup>er</sup> étage, orientée légèrement sud-sud/est (côté vigie). Aujourd'hui, cette casemate abrite un jeu destiné à l'émission de télévision « Fort Boyard », et est connue sous le nom de « salle du billard ». Le sol de la casemate est en partie recouvert d'un parquet, depuis la fenêtre jusqu'aux  $\frac{3}{4}$  de la salle en se dirigeant vers la porte, mais le sol est d'origine. *Altitude en 1878 : 12,31 m NGF-Bourdalouë*

## Repère O.O.P3 – 79 (détruit)

**1878**



**2009**



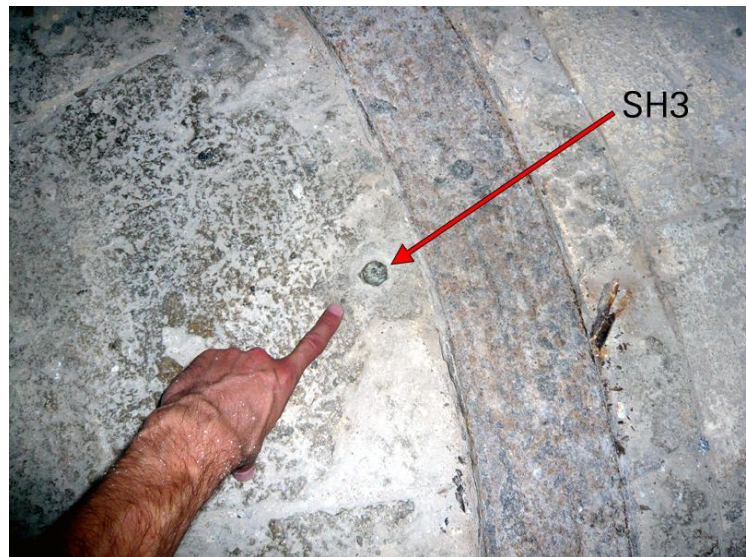
Repère détruit

**Description :** repère de type « Bourdalouë, Charente inférieure » scellé sur le mur de cale de la jetée sud-est de l'ancien barachois. Son ancien nom est : « Ile d'Oléron, n°51 ». Pour plus de précisions, se référer au paragraphe 4.4.



## Repère SH3 (existant)

2009



**Description** : soupape scellée par le SHOM en 1960, dans le sol de la casemate n°223, située au 2<sup>e</sup> étage du fort, orientée légèrement sud-sud/ouest. Cette casemate est aujourd'hui occupée pour le jeu télévisé « Fort Boyard », et est connue sous le nom de « salle des mygales et des scorpions ». Le repère est situé au sol, dans l'axe de la fenêtre, à environ 1 m du mur, côté mer. *Altitude en 1960 : 16,597 m NGF-Lallemand*

## Repère SH4 (existant)

2009



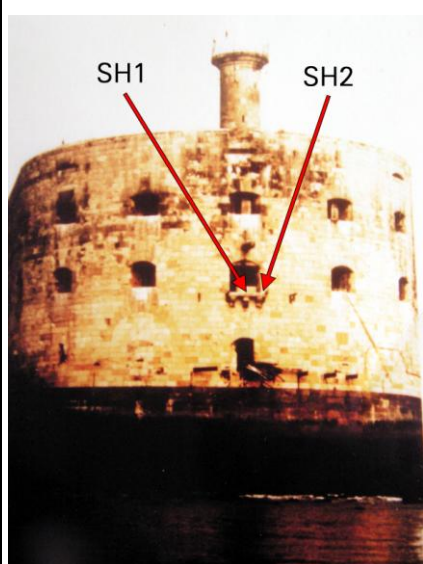
**Description** : repère vertical en bronze scellé par le SHOM en 1960, dans le mur extérieur du fort, sous la fenêtre de la casemate où se trouve le repère SH3 (casemate n°223). Pour le trouver, il faut monter sur le rebord de la fenêtre et se pencher légèrement vers la gauche. Le repère SH4 est alors juste en bas à gauche du rebord de la fenêtre.

*Altitude en 1960 : 16,981 m NGF-Lallemand*

## Repères SH1 et SH2 ( ? )

entre 1970 et 1985

2009



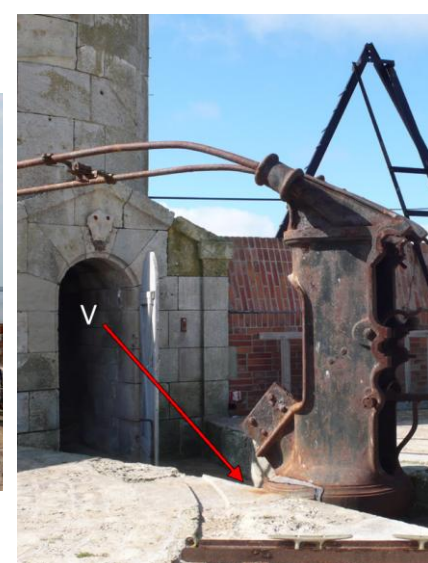
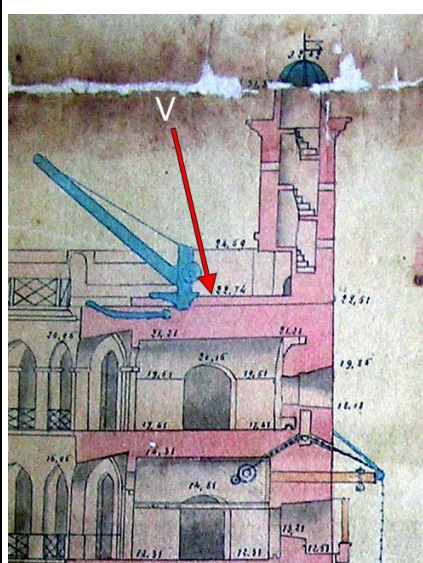
**Description :** soupapes scellées par le SHOM en 1960. SH1 est scellée sur un encorbellement situé au sud du fort au 1<sup>er</sup> étage. SH2 est situé juste à gauche du repère SH1 vu de l'intérieur du fort. Nous n'avons pas pu accéder à ces deux repères lors des missions 2009. *Ils seront à rechercher lors de la prochaine mission sur le fort.*

*Altitudes en 1960 : SH1 = 11,781 m ; SH2 = 11,783 m (NGF-Lallemand)*

## Repère V (existant)

1878

2009

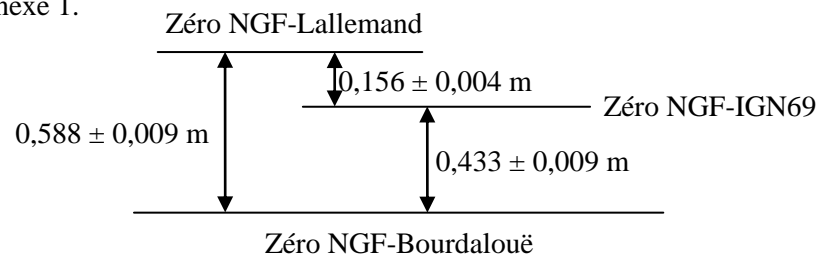


**Description :** le repère V correspond au sol entre l'entrée de la vigie et l'ancienne grue métallique rouillée, sur la terrasse, au sud du fort. *Altitude en 1878 : 22,74 m NGF-Bourdalouë*

## 4. Campagnes antérieures de mesures

### 4.1. Relation entre les zéros NGF

Avant de présenter les campagnes antérieures de mesures, il convient de retrouver ou de vérifier la relation entre les différentes origines des réseaux du Nivellement Général de la France (NGF) qui ont eu cours depuis 1878 jusqu'à ce jour, au fort Boyard. Les valeurs présentées ci-dessous sont des moyennes de différences d'altitudes calculées à partir de plusieurs repères du Nivellement Général de la France situés à Rochefort (15 repères) et au fort Enet (1 repère). La moyenne des différences d'altitude à Rochefort s'écarte de moins d'un millimètre de la valeur obtenue au fort Enet, on peut donc prendre comme hypothèse que les moyennes calculées à Rochefort sont valables dans la zone Aix-Enet-Boyard, au millimètre près. Le détail des calculs se trouve dans l'annexe 1.



*schéma 4 : situation des différentes origines des réseaux NGF utilisés au fort Boyard depuis 1878*

### 4.2. Détermination du zéro hydrographique

Au cours du 19<sup>e</sup> siècle, plusieurs études hydrographiques ont été menées dans la rade de Rochefort, c'est-à-dire dans la zone maritime s'étendant de l'embouchure de la Charente (Port des Barques) jusqu'aux îles d'Aix et d'Oléron. La première étape, commune à toutes ces études, était d'adopter un zéro de réduction des sondes afin de rapporter, par la suite, toutes les mesures par rapport au zéro hydrographique, encore appelé zéro des cartes marines. Le zéro hydrographique est le niveau de référence commun aux cartes marines et aux annuaires de marée, et il est choisi comme le niveau des plus basses mers astronomiques [Wöppelmann *et al.*, 1999]. La définition du zéro hydrographique est conventionnelle. En principe, une fois déterminé, le zéro hydrographique adopté a une vocation de pérennité. Il est donc surprenant de constater que ce zéro ait été redéterminé plusieurs fois à l'île d'Aix, et notamment au cours du 20<sup>e</sup> siècle. A noter que pour notre zone d'étude « Aix-Enet-Boyard », un seul et même zéro hydrographique a été adopté et communément appelé « zéro hydrographique de l'île d'Aix ». Voici un bref historique de sa détermination :

- En 1810, Raoul définit ce zéro comme étant à 5,03 m en dessous du palier du port de l'île d'Aix, suite à une campagne hydrographique réalisée en 1809 [Delbalat, 1860 ; Bona-Christave, 1868].

- En 1824, Beautemps-Beaupré donne une nouvelle définition. Ce zéro est alors à 16pieds7pouces (5,386 m) en dessous du palier du port de l'île d'Aix (1 pied=32,484 cm, 1 pouce=2,707 cm, 1 ligne=0,2256 cm), [Delbalat, 1860 ; Bona-Christave, 1868].

- En 1858, Delbalat reprit le même zéro que Beautemps-Beaupré et élargit sa réalisation à un autre repère matériel. Il le situe donc à 5.386 m en dessous du palier du port de l'île d'Aix et à 7,728 m en dessous du seuil de la porte d'entrée du fort Enet [Delbalat, 1860 ; Bona-Christave, 1868].

- En 1864, Bouquet de la Grye reprend la même définition que Beautemps-Beaupré et le situe à la cote -3,256 m NGF-Bourdalouë.

- En 1868, Bona-Christave réalise un récapitulatif de la position de ce zéro. Il le définit toujours à 7,728 m en dessous du seuil de la porte d'entrée du fort Enet et l'estime à la cote -3,278 m du réseau Bourdalouë (Nivellement Général de la France). Cette valeur est le résultat d'une moyenne des trois définitions réalisées par Delbalat en 1858 et en 1860 et Bouquet de la Grye en 1864 [Bona-Christave, 1868].

- En 1880, Lefebvre réutilise le même zéro que Bouquet de la Grye et le situe à la cote -3,260 m NGF-Bourdalouë [Lefebvre, 1880].

- En 1960, le SHOM adopte un nouveau zéro hydrographique pour l'île d'Aix, à la suite de campagnes d'observations du niveau de la mer. Il est situé à la cote -3,70 m NGF-Lallemand [Mannevy, MHFAN, 1960].

- En 1964, le SHOM reprend le même zéro hydrographique qu'en 1960 (-3,70 m NGF-Lallemand), [Ortais, MHF, 1964].

- En 1983, le SHOM adopte encore un nouveau zéro hydrographique pour l'île d'Aix, à la suite d'une nouvelle campagne d'observations du niveau de la mer. Il est situé à la cote -3,650 m NGF-IGN69 (-3,88 m NGF-Lallemand) [Guyon, MHA, 1983]. Cette valeur du zéro hydrographique est encore celle définie à ce jour, en 2009.

Afin de visualiser l'évolution de la détermination du zéro hydrographique, nous avons rapporté sa cote par rapport à un repère matériel terrestre : le seuil de la porte d'entrée du fort Enet (repère principal de Delbalat en 1860). Cette évolution dans le temps n'a de sens que si ce repère a été stable au cours du temps, ce qui est le cas, comme le montre les résultats présentés dans la partie 6 de ce rapport.

Position du zéro hydrographique			
Période	Cote par rapport au seuil de la porte d'entrée du fort Enet		
1810 - 1824	7,37 m	+ 0,36	- 0,16
1824 - 1960	7,73 m		
1960 - 1983	7,57 m	+ 0,11	
1983 - 2009	7,68 m		

tableau 1 : récapitulatif des différentes cotes adoptées pour le zéro hydrographique à l'île d'Aix, de 1810 à 2009

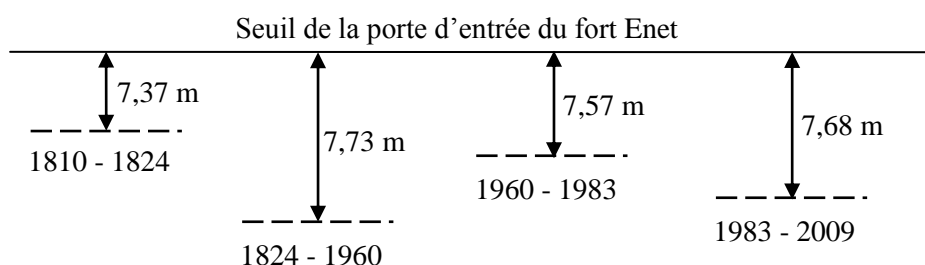


schéma 5 : situation des différents zéros hydrographiques utilisés à l'île d'Aix de 1810 à 2009

### 4.3. Cotes des repères du fort Boyard en 1878

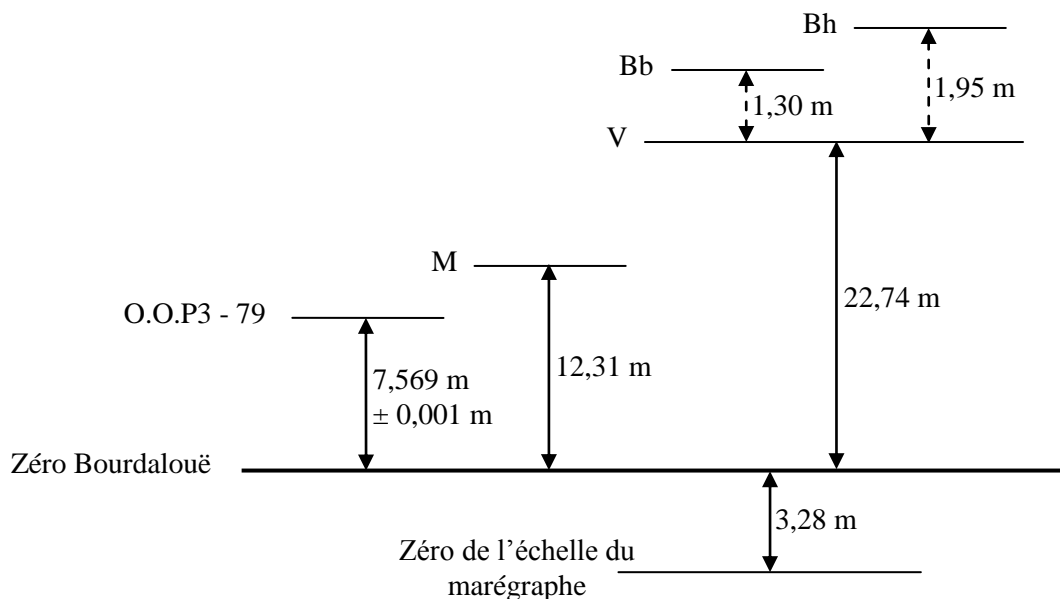


schéma 6 : position relative des différents repères en 1878 au fort Boyard. Sauf indication contraire, l'incertitude de ces cotes est de l'ordre de  $\pm 0,01$  m. Ces cotes sont extraites des plans de 1878 retrouvés aux archives du SHD-Marine (Rochefort), carton coté 1K4W8

## 4.4. Nivellement du SHOM en 1960

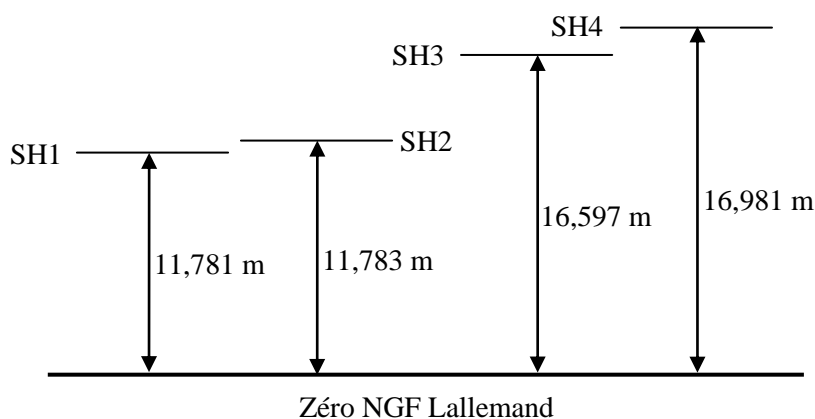
Le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM) a effectué plusieurs nivellements et traverses en Charente-Maritime en 1960, afin de rattacher les îles de Ré, d'Aix et d'Oléron dans le réseau du Nivellement Général de la France (NGF). Parmi ceux-ci, un nivellement a été effectué entre le fort Boyard et les îles d'Aix et d'Oléron, le 27 septembre 1960 [Plouviez, MHCFA, 1960].

Au cours de ce nivellement, les ingénieurs hydrographes du SHOM ont scellé trois soupapes au sol (SH1, SH2 et SH3) et un repère vertical en bronze dans le mur extérieur du fort (voir 3.2 Description des repères). Ils ont effectués plusieurs visées entre les îles d'Aix et d'Oléron et le fort Boyard au niveau Wild N3 et ont ensuite rattachés les repères SH1, SH2, SH3 et SH4 à l'aide d'un niveau Zeiss n°2.

### Bilan des repères de 1960 :

Nom actuel	Description de 1960	Cote rapportée au zéro NGF-Lallemand ( $\pm 0,001$ m)
SH1	soupape scellée sur un encorbellement situé au sud du fort au 1 <sup>er</sup> étage	11,781
SH2	soupape scellée à gauche du repère SH1 vu de l'intérieur du fort	11,783
SH3	soupape scellée dans le sol d'une pièce au 2 <sup>e</sup> étage du fort, vers l'ouest	16,597
SH4	repère vertical en bronze scellé dans le mur extérieur du fort, sous la fenêtre de la pièce où se trouve le repère SH3	16,981

*tableau 2 : récapitulatif des différentes cotes mesurées par le SHOM en 1960 au fort Boyard*



*schéma 7 : position relative des différents repères mesurés par le SHOM en 1960. L'incertitude de ces mesures est de l'ordre de  $\pm 0,001$  m.*

## 4.5. Historique du repère O.O.P3 - 79

Le repère O.O.P3 - 79 était scellé sur le mur de cale de la jetée sud-est de l'ancien barachois. Ce repère, de type « Bourdalouë, Charente inférieure », existe au moins depuis 1882, comme l'atteste les plans du fort de 1882 (*archives du SHD-Marine (Rochefort), carton coté 1K4W8*). Son précédent nom était « Ile d'Oléron, n°51 ». En effet, à l'époque, il n'était pas encore rattaché au réseau NGF, mais uniquement au réseau de nivellement local de l'île d'Oléron. Il a été détruit lors de l'effondrement de la jetée sud-est du barachois. Nous ne connaissons pas exactement la date de destruction de ce repère, mais nous pouvons affirmer, avec

certitude que celle-ci est comprise entre 1915 et 1966. En effet, jusqu'en 1915, des travaux de rénovation du barachois étaient fréquemment réalisés, afin de le maintenir en place. En 1966, les images du film « Les aventuriers » montrent que le barachois n'existe plus ; le repère non plus donc.

Nous ne disposons pas de photo de ce repère. Lors de son rattachement dans le réseau du Nivellement Général de la France de l'époque, l'altitude de ce repère était de 7,569 m NGF-Bourdalouë. Son altitude orthométrique a ensuite été déterminée à 6,939 m NGF-Lallemand. Plus tard encore, alors que ce repère était déjà détruit, son altitude normale a été calculée à 7,108 m NGF-IGN69. **D'où une différence de 0,169 m entre le réseau NGF-Lallemand et le réseau NGF-IGN69 au fort Boyard.** Ce qui correspond à une valeur supérieure de 0,014 m à la valeur trouvée sur le site internet de l'IGN (0,15 m) pour effectuer une conversion entre le NGF-Lallemand et le NGF-IGN69 dans la zone Enet-Aix-Boyard (d'après la grille centre ouest, feuille n°1330, <http://professionnels.ign.fr/ficheProduitCMS.do?idDoc=5276264>).

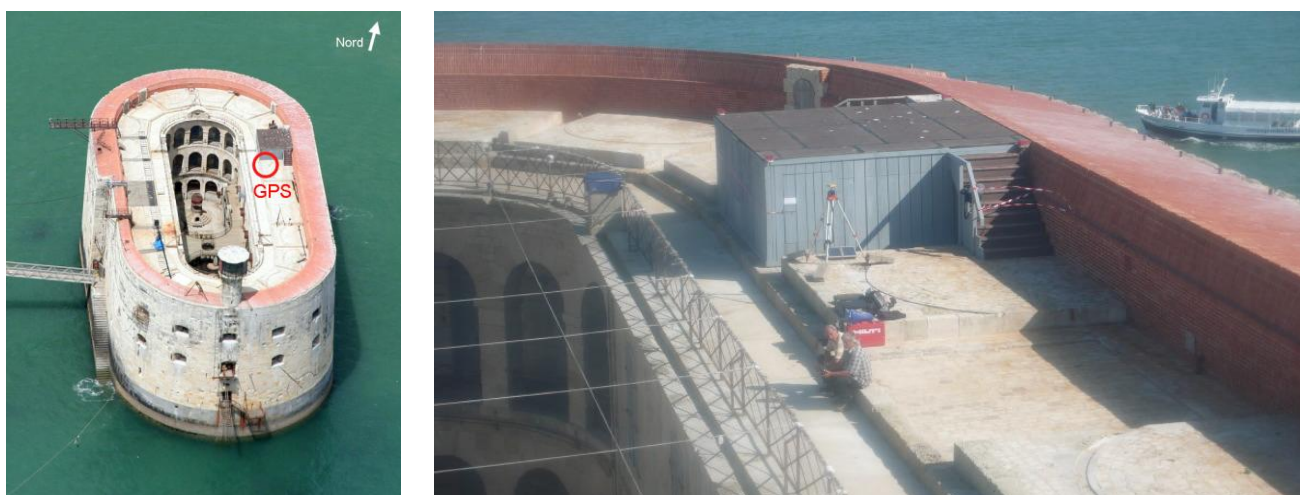
Altitude du repère O.O.P3 - 79		
Date	Cote ( $\pm 0,001$ m)	Réseau de référence
1882	7,569	NGF-Bourdalouë
1957	6,939	NGF-Lallemand
2009	détruit	NGF-IGN69

*tableau 3 : cote des altitudes du repère O.O.P3 - 79 depuis 1882 dans les différentes réalisations du NGF*

## 5. Mesures et résultats

### 5.1. Positionnement par GPS

Nous avons installé une station temporaire de positionnement par GPS au fort Boyard, du 20 juillet au 20 août 2009. Le récepteur GPS était branché sur une batterie couplée à un panneau solaire. Malheureusement, suite à un problème lié à l'alimentation de la batterie, la station GPS n'a fonctionné que 13 jours en continu, soit du 20 juillet au 1<sup>er</sup> août. La station GPS, de type géodésique, a été installée à proximité de l'héliport, au nord du fort (*schéma 8*). Le compte-rendu de mission de cette installation est dans l'annexe 2.



*Schéma 8 : localisation de la station GPS temporaire au fort Boyard*

Nous avons choisi d'installer la station GPS au nord du fort, à l'opposée de la vigie, près d'une cabane en bois, dont le toit sert d'héliport, permettant ainsi d'abriter la batterie et le récepteur GPS. Cette cabane en bois ne devrait pas faire de masque dans les observations GPS. De même, l'éventuel atterrissage d'un hélicoptère à proximité de l'installation ne devrait pas endommager le matériel.



*Schéma 9 : photos de l'antenne GPS et du panneau solaire servant à alimenter la batterie*

L'antenne GPS a été installée sur un trépied Leica en aluminium, qui a été stabilisé avec des parpaings en béton. Le matériel utilisé pour cette installation est un récepteur Topcon GB1000, configuré pour enregistrer les informations de code et de phase (sur les deux fréquences L1 et L2) cadencées à 30 secondes. La rallonge utilisée sur l'embase est en aluminium, et d'une longueur de 4,96 cm. La station GPS est autonome en énergie ; elle est branchée sur une batterie couplée à un panneau solaire.

Un repère a été installé au sol (voir 3.2 Description des repères). Il s'agit d'un boulon en alliage de bronze comportant une marque de centrage (un petit trou au sommet). Le boulon a été scellé à la résine. Des mesures de différence de hauteurs entre le repère G et le rebord de l'antenne GPS ont été successivement réalisées par Eva COUGNON (EC) et Emmanuel BARDIERE (EB). Ces mesures (en mètre) sont des distances inclinées et ont été réalisées à la canne (tableau 4).

<b>EC</b>	1,467	1,469	1,468	1,469	1,467	1,469	<b>Moyenne : 1,468 m</b>
<b>EB</b>	1,468	1,4675	1,468	1,468	1,469	1,468	

*tableau 4 : différence de hauteurs obliques entre le repère G et la base de l'antenne GPS*

La hauteur de l'ARP (Antenna Reference Point), utilisée par les logiciels de calcul GPS, est déduite du diagramme figurant dans l'annexe 3 :

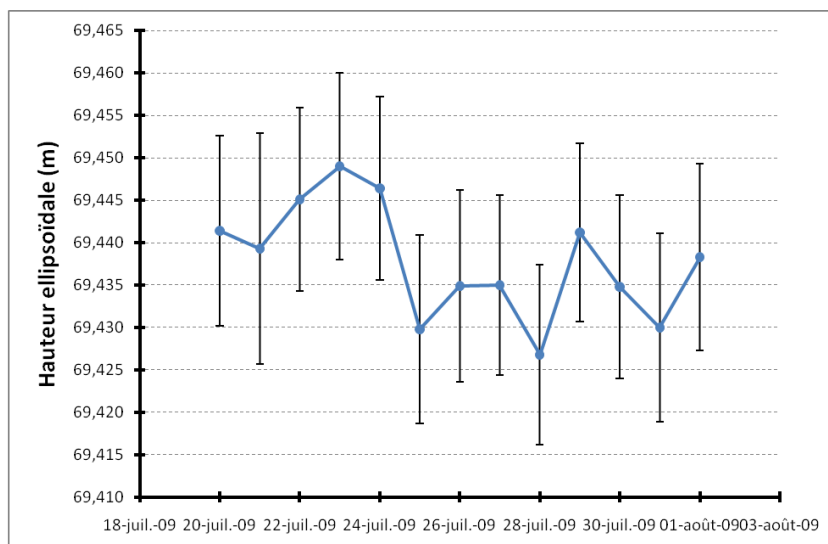
$$H_{ARP} = \sqrt{1,468^2 - 0,1^2} - 0,0275 = 1,437 \text{ m}$$

Les données brutes des observations GPS au format RINEX ont été traitées avec la méthode PPP (Precise Point Positioning) via le serveur canadien du RNCAN (Ressources Naturelles Canada, [http://www.geod.rncan.gc.ca/products-produits/ppp\\_f.php](http://www.geod.rncan.gc.ca/products-produits/ppp_f.php)).

Le service de positionnement ponctuel précis (PPP) du Système Canadien de Référence Spatiale (SCRS) fournit des estimations de position post-traitement sur internet, à partir des fichiers d'observation GPS fournis par l'utilisateur (données brutes RINEX). Les estimations de position sont données dans le repère de référence terrestre international ITRF, réalisation ITRF2005 [Altamimi et al., 2007]. Elles sont calculées en mode statique en utilisant des horloges et des orbites GPS précises de l'IGS (<http://igs.org>). La précision des coordonnées obtenues est centimétrique. La latitude, la longitude et la hauteur ellipsoïdale sont données dans le repère de référence ITRF en utilisant l'ellipsoïde IAG-GRS 1980. L'altitude est calculée à l'aide du logiciel CIRCE 3.2 et est donnée dans le système de référence NGF-IGN69. Le détail du calcul des moyennes fournies dans le tableau 5 est dans l'annexe 4.

<b>Moyenne du positionnement par GPS du repère G (± moyenne des incertitudes des mesures)</b>	
Latitude	45°59'59,046 ± 0,003"
Longitude	-1°12'49,907 ± 0,006"
Hauteur ellipsoïdale	69,44 ± 0,01 m
Altitude	22,54 ± 0,03 m

*tableau 5 : coordonnées géographiques du repère G, calculées avec la méthode PPP sur une période de 13 jours dans l'ITRF2005 par rapport à l'ellipsoïde IAG-GRS 1980*



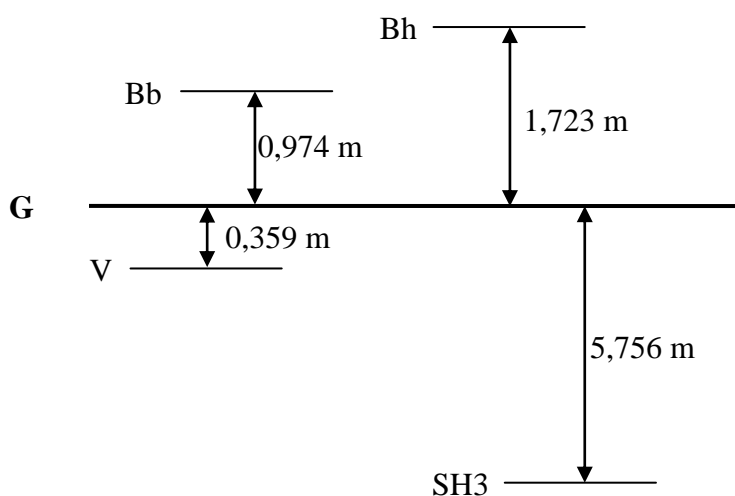
*graphique 1 : hauteur ellipsoïdale du repère G entre le 20 juillet et le 01 août 2009 au fort Boyard dans l'ITRF2005 par rapport à l'ellipsoïde IAG-GRS 1980*

## 5.2. Nivellement des différents repères

Cinq repères différents ont été observés par nivellement aller-retour, au cours de la mission du jeudi 20 août 2009. L'emplacement et la description de chacun de ces repères sont précisés au paragraphe 3.2 *Description des repères*. L'erreur de fermeture obtenue au cours de ce nivellement est de l'ordre de deux millimètres. A partir du repère G, nous avons déterminé les dénivelés des autres repères. Les résultats sont présentés ci-dessous (le détail du nivellement est dans l'annexe 5).

Nom actuel	Dénivelé par rapport au repère G ( $\pm 0,001$ m)
Bh	1,723
Bb	0,974
V	- 0,359
SH3	- 5,756

*tableau 6 : dénivelés entre le repère G et les autres repères mesurés en 2009 au fort Boyard*



*schéma 10 : situation relative en élévation des différents repères mesurés en 2009. L'incertitude de ces mesures est de l'ordre de  $\pm 0,001$  m.*



## 6. Discussion et conclusion

A partir des coordonnées géographiques du repère G, obtenues par le positionnement par GPS et à partir des résultats du nivellement, reliant le repère G aux autres repères du fort Boyard, nous pouvons déterminer une altitude approximative des cinq repères mesurés au cours de l'été 2009. Voici le tableau récapitulatif des altitudes de ces repères en 2009, mais aussi en 1878 et en 1960 :

Nom actuel	Cote rapportée au zéro NGF-IGN69		
	1878 ( $\pm 0,01$ m)	1960 ( $\pm 0,001$ m)	2009 ( $\pm 0,03$ m)
G	-	-	22,54
Bh	24,26	-	24,26
Bb	23,61	-	23,51
V	22,31	-	22,18
SH3	-	16,753	16,78

*tableau 7 : altitude des repères du fort Boyard, de 1878 à 2009, dans le système NGF-IGN69*

La précision obtenue lors du calcul de l'altitude du repère G à l'aide du logiciel CIRCE étant centimétrique, une comparaison des altitudes 1878, 1960 et 2009 ne permet pas de déceler un mouvement vertical inférieur à trois centimètres. Nous allons donc utiliser les valeurs de nivellement entre le repère V (qui à priori devrait être le repère le plus stable) et les deux autres repères communs aux années 1878 et 2009, afin d'estimer d'éventuels mouvements verticaux entre ces trois repères :

Nom actuel	Dénivelé par rapport au repère V		
	1878 ( $\pm 0,01$ m)	2009 ( $\pm 0,001$ m)	
Bb	1,30	1,333	+ 0,03
Bh	1,95	2,082	+ 0,13

*tableau 8 : dénivelés entre le repère V et deux autres repères mesurés en 2009 et en 1878 au fort Boyard*

La différence de dénivelé entre 1878 et 2009 du repère Bb par rapport au repère V est de l'ordre de  $3 \pm 1$  cm, nous ne pouvons donc pas affirmer que les repères Bb et V soient stables entre eux. La différence d'environ  $13 \pm 1$  cm entre 1878 et 2009 entre les repères Bh et V est plus importante et laisse nettement supposer que l'un de ces deux repères a bougé par rapport à l'autre. A priori, il semblerait que les repères Bb et Bh aient été modifiés, probablement lors de la rénovation du mur de brique faisant le tour de la terrasse du fort. Un nouveau nivellement sur un plus grand nombre de repères du fort permettra de mieux déterminer lequel de ces repères a bougé et de donner une estimation de son déplacement vertical.

Le paragraphe 4.2 montre le paradoxe de l'évolution de la détermination du zéro hydrographique à l'île d'Aix. En effet, celui-ci a été redéterminé deux fois au cours du 20<sup>e</sup> siècle, ce qui est assez surprenant au regard de sa vocation de pérennité. Il est possible qu'il y ait eu une confusion entre le zéro de réduction des sondes et le zéro hydrographique. En effet, les différentes missions hydrographiques du SHOM entre 1960 et 1983 ont chacune utilisées un zéro de réduction des sondes pour les besoins de leur campagne ponctuelle. A priori, il semblerait que certains de ces zéros aient été adoptés comme zéro hydrographique alors que celui-ci aurait du rester le même que celui défini par Beautemps-Beaupré en 1824. Cette hypothèse sera à vérifier auprès de nos partenaires du SHOM.

Une nouvelle mission de mesures de positionnement par GPS et de nivellement sera effectuée au printemps 2010. Celle-ci permettra de rattacher entre eux les repères de marée ayant subsistés à l'île d'Aix, au fort Enet et au fort Boyard. Elle permettra également de confirmer, ou non, les résultats dégagés dans ce rapport.

Les résultats obtenus ici seront croisés et analysés avec ceux du fort Enet afin d'en tirer des conclusions sur la stabilité dans le temps entre les deux sites. Ces résultats feront l'objet d'un rapport de synthèse.

**Actions à prévoir :**

- campagne d'observations GPS simultanées sur les trois sites d'étude suivants : l'île d'Aix, le fort Enet et le fort Boyard, afin de pouvoir relier entre eux les repères de marée de l'île d'Aix, du fort Enet et du fort Boyard.
- rechercher les repères SH1 et SH2
- nivellement aller-retour des repères SH1, SH2, SH3, SH4, G, M, V, Bb et Bh
- discuter avec les partenaires du SHOM quant aux différentes déterminations du zéro hydrographique

## Références

- Altamimi Z., Collilieux X., Legrand J., Garayt B., et Boucher C. (2007).** ITRF2005: A new release of the International Terrestrial Reference Frame based on time series of station positions and Earth Orientation Parameters. *J. Geophys. Res.*, **112**, B09401, doi:10.1029/2007JB004949.
- Bindoff N.L., Willebrand J., Artale V., Cazenave A., Gregory J., Gulev S., Hanawa K., Le Quéré C., Levitus S., Nojiri Y., Shum C.K., Talley L.D. et Unnikrishnan A. (2007).** Observations: Oceanic Climate Change and Sea Level. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press, pages 385 - 432.
- Bona-Christave (1868).** « Plans de nivellement, échelles de marées, seuils, repères, travail de M. Bona-Christave, Capitaine de vaisseau, directeur du port ». Archives du SHD-Marine (Rochefort). Cote : 2D<sup>4</sup>5t.
- Bouligand R. et Pirazzoli P.A. (1999).** Les surcotes et les décotes marines à Brest, étude statistique et évolution. *Oceanologica Acta*, **22**, pages 153 - 166.
- Cartwright D.E. (1972).** Secular changes in oceanic tides at Brest (1711-1936). *Geophys. J. R. astr. Soc.*, **30**, pages 433 - 449.
- Delbalat (1860).** « Etude du lit de la Charente, Configuration Géohydrographique - 2<sup>ème</sup> partie : Nivellement général ». Archives du SHOM (Brest). Portefeuille 12, Division 7, 20bis, 21, 22 (12-7-20bis, 12-7-21 et 12-7-22).
- Douglas, B. C. (1991).** Global sea level rise, *J. Geophys. Res.*, **96**, pages 6981 - 6992.
- Gouriou T., Pouvreau N. et Wöppelmann G. (2008).** Mesures du niveau de la mer en France : un patrimoine historique à fort potentiel scientifique. L'exemple du littoral charentais. *Géologues*, **158**, pages 83 - 89.
- Guyon, MHA (1983).** « Fiche d'observatoire de marée ». Archives du SHOM.
- Lefebvre (1880).** « Note sur les variations de la marée à Rochefort, à Enet et au fort Boyard ». Archives du SHD-Marine (Rochefort). Cote : 2D<sup>4</sup>5y.
- Mannevy, MHCFA (1960).** « Fiche d'observation de la marée ». Archives du SHOM.
- Ortais, MHF (1964).** « Fiche descriptive d'observatoire de marée ». Archives du SHOM.
- Plouviez, MHCFA (1960).** « Rattachement des îles d'Aix, d'Oléron et de Ré au Nivellement Général de la France, Cahiers 3/7, 4/7 et 7/7 ». Archives du SHOM, boîte n°886.
- Pouvreau N. (2008).** Trois cents ans de mesures marégraphiques en France : outils, méthodes et tendances des composantes du niveau de la mer. Thèse de doctorat, Université de La Rochelle, 452 pages.
- Wöppelmann G., Allain S., Bahurel P., Lannuzel S. et Simon B. (1999).** Zéro hydrographique : vers une détermination globale. *Revue XYZ*, **79**, pages 27 - 34.

# Annexe 1

## Comparaison entre les différents systèmes NGF


*Les repères ci-dessous (situés à Rochefort) ont été observés pour la première fois par l'IGN en 1957. Les altitudes ont alors été mesurées dans le système NGF-Lallemand puis calculées dans le système NGF-IGN1969. Lorsque les altitudes "nivellement Charente Inférieure" sont connues, elles sont indiquées ; les repères étant du type "Bourdalouë, Charente inférieure". A partir de ces résultats, il semble que l'écart entre les deux systèmes NGF-Lallemand et NGF-Bourdalouë soit de l'ordre de -0,588 m à Rochefort. Lorsque l'écart est différent, il s'agit probablement de repères qui ont bougé ou qui ont été déplacés entre la première observation et 1957.*

Matricule	SUPPORT	Altitude Bourdalouë (m) [1]	NGF-Lallemand altitude orthométrique (m) [2]	NGF-IGN1969 Altitude normale (m) [3]	Différence [3] -[2]	Différence [2] -[1]
10	Aqueduc	6,039	5,4600	5,6129	0,1529	-0,5790
10-a	Maison	R.M.R.U	5,2332	5,3912	0,1580	
11	Aqueduc	3,908	3,1695	3,3280	0,1585	-0,7385
11-a	Eglise		5,6375	5,7960	0,1585	
12	B.K. n° 163	14,583	14,0000	14,1604	0,1604	-0,5830
13	Pont	4,689	4,7250	4,8844	0,1594	0,0360
27	Abattoirs		4,11			
28	Maison	4,708	3,9093	4,0561	0,1468	-0,7987
18-a	Eglise	R.M.R.U	10,5218	10,6738	0,1520	
19	B.K. n° 172	11,169	10,5786	10,7300	0,1514	-0,5904
14	Ecluse	6,073	5,468	5,6260	0,1580	-0,6050
15-bis	Transfo.	-	6,2951	6,45606	0,1610	
16	Portail	6,108	5,5251	5,6800	0,1549	-0,5829
16-a	P.N. n° 2	-	7,1834	7,3378	0,1544	
17-bis	Ponceau	-	2,8091	2,9627	0,1536	
18-bis	Maison	-	3,6788	3,8316	0,1528	
42	Fort d'Enet	non connue	4,3952	4,5504	0,1552	

**Moyenne : 0,155      -0,588**  
**Ecart-Type 0,004      0,009**

## Annexe 2

### Compte-rendu de la mission du lundi 20 juillet 2009

	<b>Mission sur le Fort Boyard (20/7/2009)</b> Compte-rendu (20/07/2009) Rédacteurs : T. Gouriou et E. Bardière
---	--

<b>Participants</b>	<b>Laboratoire / Structure</b>	<b>Titre / Fonction</b>
Thomas Gouriou ( <i>TG</i> )	LIENSs (Université de La Rochelle)	Chercheur doctorant
Eva Cougnon ( <i>EC</i> )	LIENSs (Université de La Rochelle)	Stagiaire Licence 3
Emmanuel Bardière ( <i>EBa</i> )	ENSG (Institut Géographique National)	Elève ingénieur
<b>Contacts sur le terrain</b>		
Eric Buron ( <i>EBu</i> )	Adventure Line Productions	Directeur de Production
Didier Loriou ( <i>DL</i> )	DMC - Conseil Général 17 (Rochefort)	Responsable de la cellule maritime
<b>Excusés (à informer)</b>		
Guy Wöppelmann ( <i>GW</i> )	LIENSs (Université de La Rochelle)	Maître de Conférences
Jean-Claude Mercier ( <i>JCM</i> )	LIENSs (Université de La Rochelle)	Professeur
Mikhail Karpytchev ( <i>MK</i> )	LIENSs (Université de La Rochelle)	Maître de Conférences
Pascal Tiphaneau ( <i>PT</i> )	LIENSs (Université de La Rochelle)	Technicien

#### **Ordre du jour :**

1. Installation d'une station GPS temporaire
2. Reconnaissance géodésique

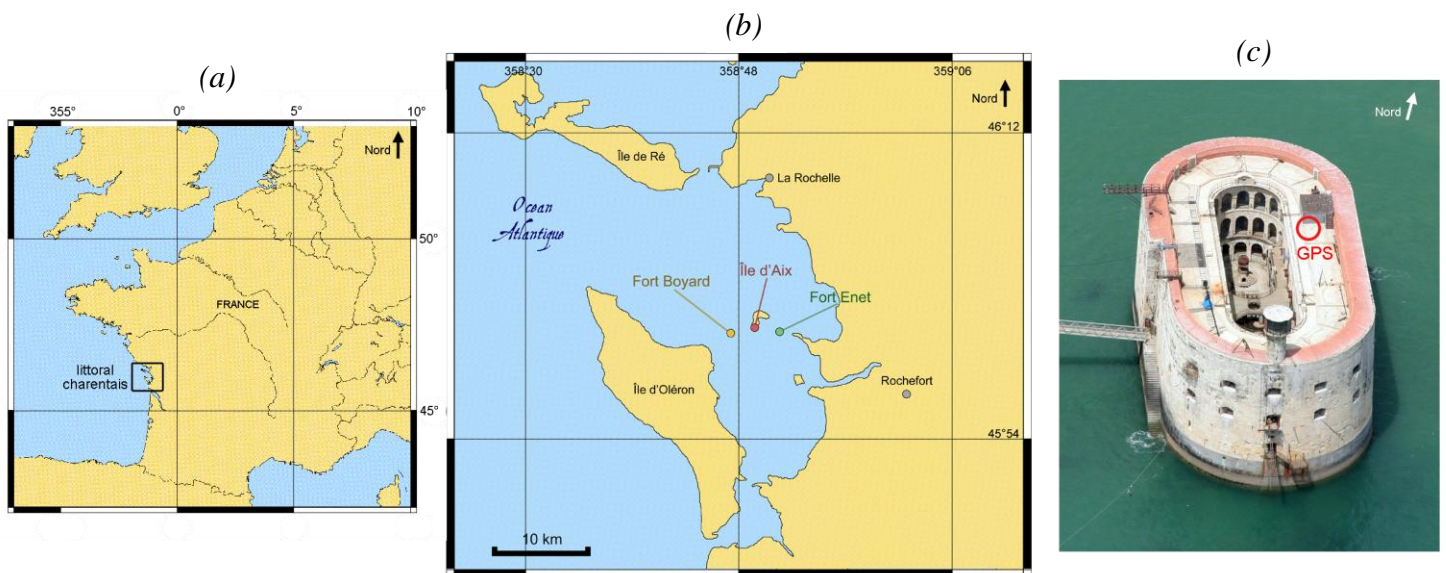
### **1. Préambule**

- Départ de l'Institut du Littoral et de l'Environnement à 07h00 pour se rendre à la Pointe de la Fumée (Fouras), où nous avons rendez-vous à 07h45 avec *EBu*. Arrivée de *DL*, qui nous accompagnera lors de notre mission sur le Fort. Nous embarquons à bord du *Sea Surfer*, le bateau de la compagnie « Le Scaphandre » qui assure la liaison entre la Pointe de la Fumée et le Fort Boyard, en compagnie de *DL*, *EBu* ainsi que de plusieurs membres de la production se rendant sur le Fort pour travailler et terminer le démontage du matériel sur place. Départ de la Pointe de la Fumée vers 08h.

- Arrivée sur le Fort Boyard vers 08h30 (environ 30 minutes de traversée). Débarquement du matériel et des passagers sur la plate-forme attenante au Fort, via une nacelle, par groupe de 8 personnes maximum. Après un premier contact avec les personnes travaillant sur le Fort, la décision est prise de se séparer en deux groupes de travail, afin d'optimiser le temps dont nous disposons sur place, le départ du Fort étant prévu entre 10h30 et 11h. *EBa* et *EC* s'occuperont donc de l'installation de la station GPS sur la terrasse du Fort tandis que *TG*, accompagné par *EBu* et *DL* rechercheront les anciens repères de nivellement.

## 2. Installation d'une station GPS temporaire

- La station GPS de type statique a été installée à proximité de l'héliport, au Nord du Fort Boyard (latitude :  $45^{\circ}59'59,2''$  N ; longitude :  $1^{\circ}12'49,9''$  O ; *schéma 1*).

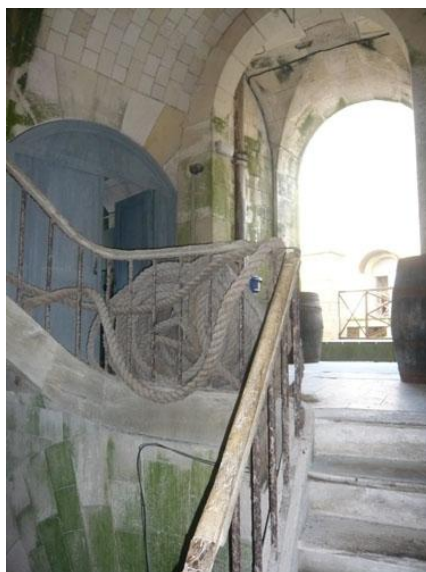


*schéma 1* : (a) carte de la France avec localisation du littoral charentais ; (b) carte du littoral charentais avec localisation de Fort Boyard ; (c) photo de Fort Boyard (© Philippe Dufour, 2008) indiquant l'emplacement de l'antenne GPS

- Pour se rendre sur la terrasse du Fort (*photo 1*), il faut prendre l'escalier se situant au fond à droite lorsque nous entrons dans le Fort, escalier situé plus précisément plein Sud. La terrasse du Fort est située au sommet du Fort, l'équivalent d'un 3<sup>e</sup> étage. L'escalier emprunté est assez haut et large pour effectuer un nivellement (*photo 2*), sauf au niveau de l'accès à la terrasse où l'escalier se resserre et devient plus bas et plus étroit (*photo 3*).



*photo 1 : la terrasse du Fort*

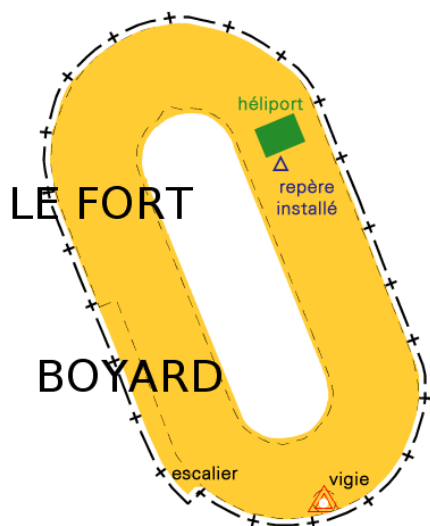


*photo 2 : escalier pour se rendre sur la terrasse*



*photo 3 : accès à la terrasse par l'escalier*

- Nous avons choisi d'installer la station GPS de type statique au Nord du Fort, à l'opposée de la vigie, près d'une cabane en bois, dont le toit sert d'héliport, permettant d'abriter la batterie ainsi que le récepteur du GPS (*photo 4*). Cette cabane en bois ne devrait pas faire de masque dans les observations GPS. De même, l'éventuel atterrissage d'un hélicoptère à proximité de l'installation ne devrait pas endommager le matériel.



*schéma 2 : plan de l'installation d'un repère dans le sol, à l'aplomb de la station GPS temporaire*



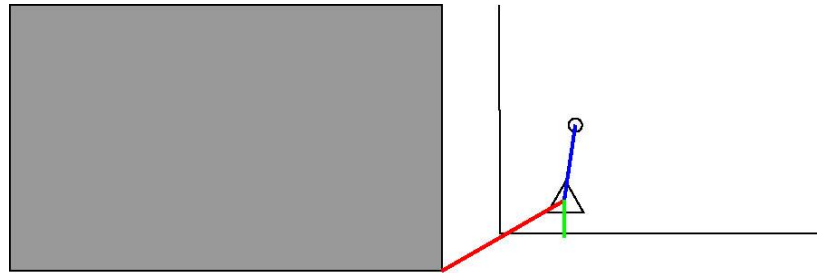
*photo 4 : photo prise depuis la vigie, station GPS temporaire située juste devant la cabane bleue en bois (héliport)*

- L'antenne GPS a été installée sur un trépied Leica en aluminium qui a été stabilisé avec des parpaings en béton (*photo 5*). Le matériel utilisé pour cette installation est un récepteur Topcon GB1000 configuré pour enregistrer les informations de code et de phase (sur P1 et P2) cadencées à 30 secondes. La rallonge utilisée sur l'embase est une rallonge en aluminium de 4,96 cm. La station GPS est autonome : elle est branchée sur une batterie couplée à un panneau solaire.

- Le repère installé au sol (*schémas 2 et 3*) est un boulon en alliage de bronze comportant une marque de centrage (un petit trou au sommet). Le boulon a été scellé à la résine (la prise a été confirmée par le mélangeur).



*photo 5 : trépied Leica stabilisé par des parpaings en béton et panneau solaire*



Angle de la cabane-Repère : 1,38 m  
 Bord de la plate forme -Repère : 0,68 m  
 Morceau de métal qui dépasse-Repère : 0,57 m

*schéma 3 : localisation précise du repère en bronze*

- Des mesures de différences de hauteurs entre le repère et la base de l'antenne GPS ont été successivement faites par *EC* et *EBa* (*photo 6*). Ces mesures (en cm) sont des distances inclinées et ont été réalisées à la canne :

<i>EC</i>	146,7	146,9	146,8	146,9	146,7	146,9
<i>EBa</i>	146,8	146,75	146,8	146,8	146,9	146,8

**Moyenne : 146,81 cm**

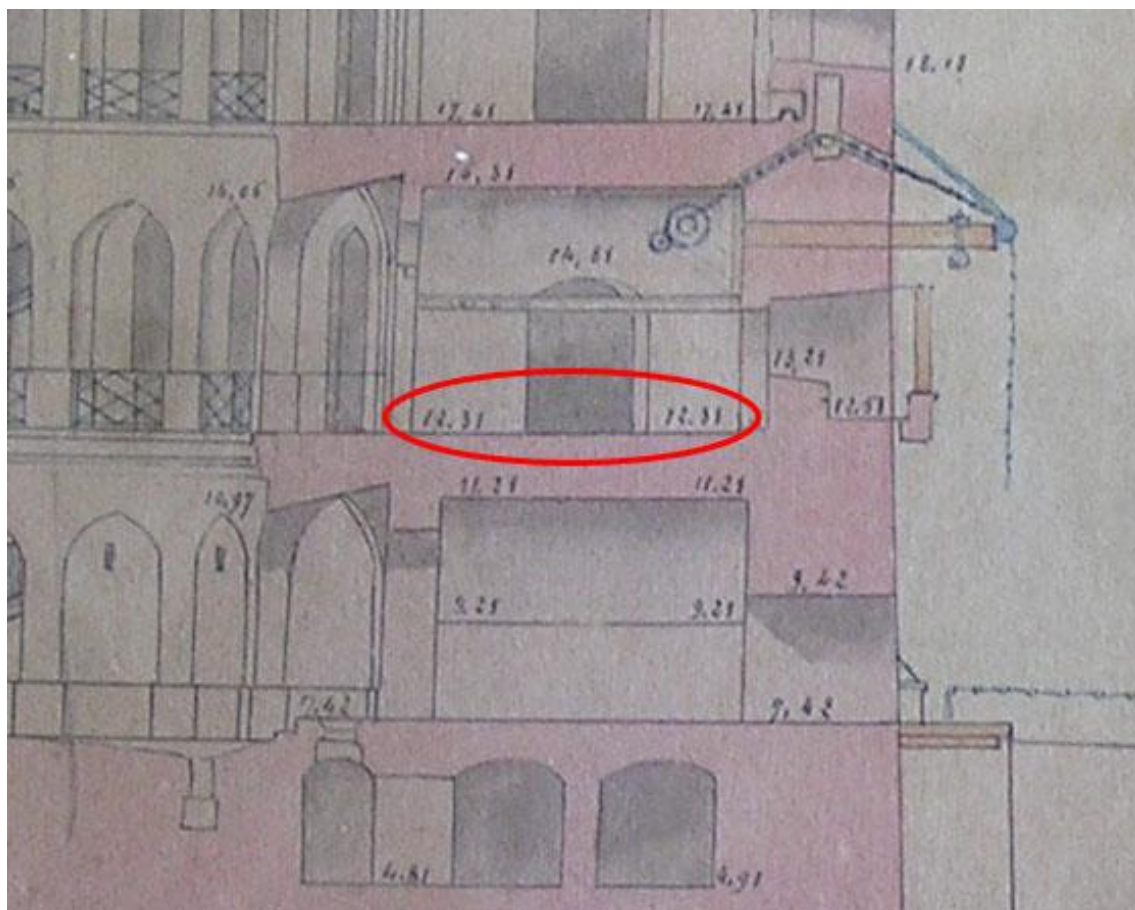


*photo 6 : mesure de différence de hauteur entre la base de l'antenne GPS et le repère en bronze*



### 3. Reconnaissance géodésique

- Pendant qu'*EBa* et *EC* installaient la station GPS, *Ebu*, *DL* et *TG* sont partis à la recherche de 5 repères anciens de nivellement. Parmi ceux-ci, il y a un repère datant de 1878, et quatre repères datant de 1961. Les informations dont nous disposions étaient les suivantes :
- **Repère de 1878** : Il s'agit du sol de la pièce où se trouvait le marégraphe, au 1<sup>er</sup> étage, côté vigie du Fort (12,31 m).



Nous avons retrouvé la pièce où se situait le marégraphe. Il s'agit de la casemate numéro 118, au 1<sup>er</sup> étage, orientée légèrement sud-sud/est. Aujourd'hui, cette casemate abrite un jeu destiné à l'émission de télévision « Fort Boyard », et est connue sous le nom de « salle du billard ». Le sol de la casemate est en partie recouvert d'un parquet peint en bleu, depuis la fenêtre jusqu'aux  $\frac{3}{4}$  de la salle en se dirigeant vers la porte (*photos 7 et 8*).

*Ebu* certifie que le sol en pierre de cette casemate est d'origine, tout comme la fenêtre, où l'on a retrouvé les rainures creusées pour permettre le passage du fil du flotteur du marégraphe. Nous avons également retrouvé des crochets en laiton de part et d'autre de la rainure, laissant supposer un système d'accroche pour protéger le fil du marégraphe (*photo 9*). Ce que j'appelle rainure ici est la saignée creusée sur le mur extérieur du Fort partant de la fenêtre de la casemate 118 et se dirigeant, de biais, vers l'ancien quai Est du barachois, aujourd'hui détruit.



*photo 7 : fenêtre de la casemate où était installé le marégraphe*



*photo 8 : sol de la casemate où était installé le marégraphe (partie en pierres d'origine, parquet ajouté ensuite)*



*photo 9 : rainure reliant la fenêtre de la casemate du marégraphe à l'ancien quai Est du barachois*

➤ **Repères de 1961** : Il s'agit de repères installés par le SHOM. Voici la description que nous en avons, lors de nos recherches. Les cotes sont définies par rapport à l'échelle de La Pallice :

- repère n°1 : soupape scellée sur un encorbellement situé au sud du fort au 1<sup>er</sup> étage (11,781 m)
- repère n°2 : soupape scellée à gauche du repère 1 vu de l'intérieur du fort (11,783 m)

- repère n°3 : soupape scellée dans le sol d'une pièce au 2<sup>e</sup> étage du fort, vers l'ouest (16,597 m)
- repère n°4 : repère vertical en bronze scellé dans le mur extérieur du fort, sous la fenêtre de la pièce où se trouve le repère n°3 (16,981 m)

Les repères 1 et 2 n'ont pas été retrouvés. *EBu*, *DL* et *TG* supposent que ces repères ont été détruits lorsque le sol des « couloirs » du Fort ont été entièrement refaits en 1989, date de début de l'émission de télévision « Fort Boyard ».

Par contre, les repères 3 et 4 ont, eux, subsistés. Il a été assez aisé de les retrouver. *EBu* avait, en effet, déjà vu un des deux repères dans une des casemates du Fort. Il s'agit de la casemate numéro 223, au 2<sup>e</sup> étage, orientée légèrement sud-sud/ouest. C'est la première casemate à gauche que l'on rencontre lorsqu'on sort de l'escalier qui mène à la terrasse. Cette casemate est aujourd'hui occupée pour le jeu télévisé « Fort Boyard », et est connue sous le nom de « salle des mygales et des scorpions ». Le repère 3 est situé au sol, dans l'axe de la fenêtre, à environ 1 m du mur, côté mer (*photo 10*). Le repère 4 est situé sur le mur extérieur (*photo 11*). Pour le voir, il faut monter sur le rebord de la fenêtre et se pencher légèrement vers la gauche. Le repère 4 est alors juste en bas à gauche du « promontoire de la fenêtre ». Le repère 4 paraît impossible à niveler.



Photo 10 : repère 3 coté à 16,597 m



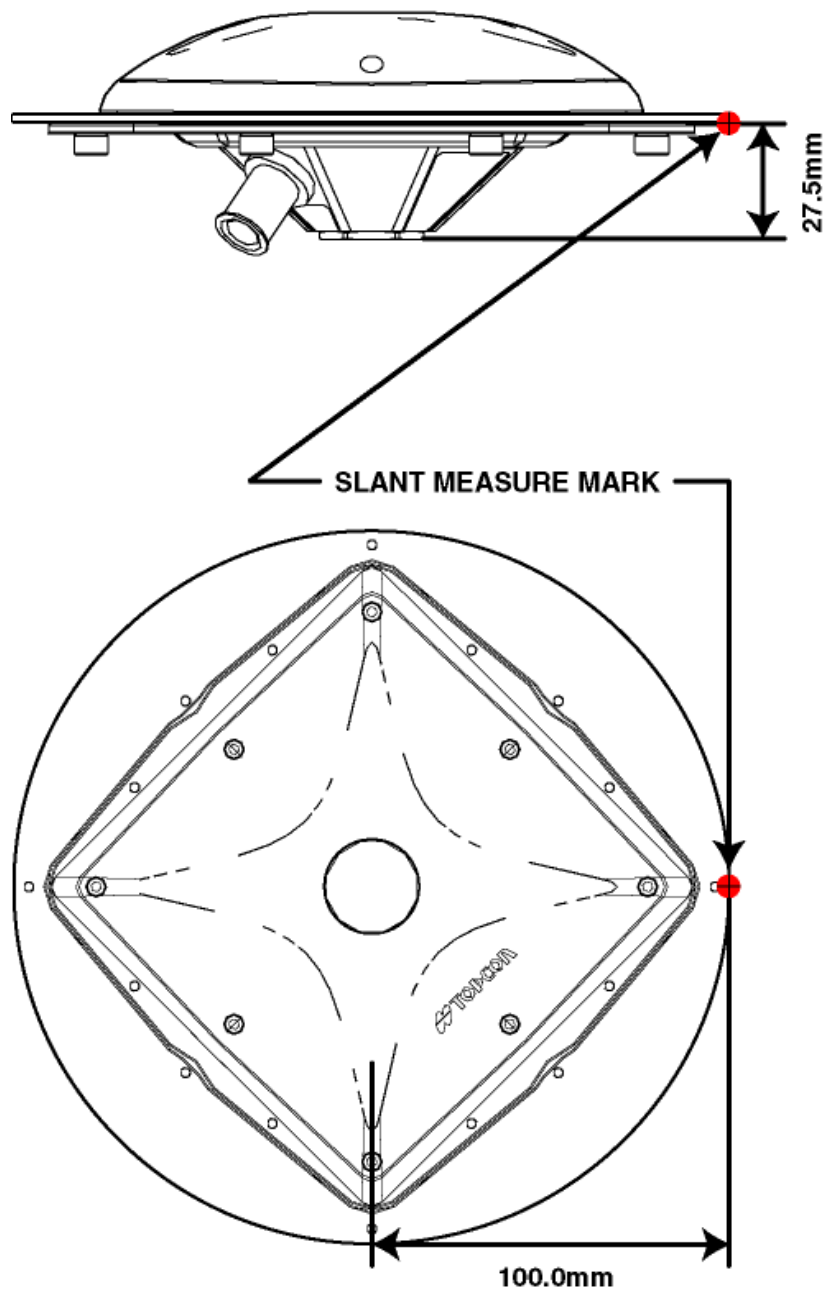
Photo 11 : repère 4, situé à l'extérieur du Fort

La mission s'est terminée vers 10h30. L'embarquement sur le Sea Surfer pour un retour vers la Pointe de la Fumée s'est fait vers 11h. La date de la seconde mission sera fixée fin juillet par téléphone.

# Annexe 3

Diagramme de l'antenne GPS TPSPG\_A1+PG

## Topcon PG-A1 with Ground Plane



## Annexe 4

### Résultats des calculs GPS par la méthode PPP

Jour	Latitude				Longitude				Hauteur ellipsoïdale	Incertitude
	Degrés	Minutes	Secondes	Incertitude	Degrés	Minutes	Secondes	Incertitude		
20-juil-09	45	59	59,0461	0,0025	-1	12	49,9067	0,0059	69,4414	0,0112
21-juil-09	45	59	59,0461	0,0035	-1	12	49,9066	0,0076	69,4393	0,0136
22-juil-09	45	59	59,0462	0,0025	-1	12	49,9067	0,0059	69,4451	0,0108
23-juil-09	45	59	59,0462	0,0024	-1	12	49,9069	0,0059	69,4490	0,0110
24-juil-09	45	59	59,0462	0,0025	-1	12	49,9067	0,0058	69,4464	0,0108
25-juil-09	45	59	59,0463	0,0026	-1	12	49,9071	0,0058	69,4298	0,0111
26-juil-09	45	59	59,0462	0,0026	-1	12	49,9069	0,0062	69,4349	0,0113
27-juil-09	45	59	59,0461	0,0023	-1	12	49,9067	0,0059	69,4350	0,0106
28-juil-09	45	59	59,0462	0,0024	-1	12	49,9072	0,0057	69,4268	0,0106
29-juil-09	45	59	59,0462	0,0025	-1	12	49,9069	0,0056	69,4412	0,0105
30-juil-09	45	59	59,0462	0,0024	-1	12	49,9068	0,0057	69,4348	0,0108
31-juil-09	45	59	59,0461	0,0024	-1	12	49,9065	0,0057	69,4300	0,0111
01-août-09	45	59	59,0461	0,0027	-1	12	49,9066	0,0057	69,4383	0,0110
Moyenne	45	59	59,046	0,003	-1	12	49,907	0,006	69,44	0,01

## Annexe 5

### Détail des mesures de nivellement

Nivellement du jeudi 20 août 2009 :

COUPS ARRIERE			COUPS AVANT					Niveau leica NA2 SONEL n°5427060, Mire invar de 3m SONEL n°022004				Dénivelés	
Différences stadimétriques	Lecture ech. I - fil nivelleur - fil inférieur	Lecture ech. II - fil supérieur - fil nivelleur	Lecture ech. I - fil nivelleur - fil inférieur	Lecture ech. II - fil supérieur - fil nivelleur	Différences stadimétriques	Constantes de mire		Points nivelés		Observations  (Circonstances atmosphériques, état du cheminement etc.)		Ech. I	Ech. II
						Arrière	Avant	Repérage					
0	1601		2068		0	-1601	-2068	R	---->	Cr1	R = Repère fixé le 20 juillet 2009 à l'aplomb de l'antenne GPS, situé sur la terrasse, à côté de l'héliport	-467	0
1601					2068								
0	26		1989		0	-26	-1989	Cr1	---->	Cr2		-1963	0
26					1989								
0	44		3911		0	-44	-3911	Cr2	---->	Cr3		-3867	0
44					3911								
0	2168		1540		0	-2168	-1540	Cr3	---->	Cr4		628	0
2168					1540								
0	1557		1645		0	-1557	-1645	Cr4	---->	S3	S3 = soupape scellée par le SHOM en 1960, située au 2e étage dans la salle des mygales	-88	0
1557					1645								
0	1647		1559		0	-1647	-1559	S3	---->	Cr5		88	0
1647					1559								
0	1534		2163		0	-1534	-2163	Cr5	---->	Cr6		-629	0
1534					2163								
0	3880		13		0	-3880	-13	Cr6	---->	Cr7		3867	0
3880					13								
0	1966		2		0	-1966	-2	Cr7	---->	Cr8		1964	0
1966					2								
0	2014		1549		0	-2014	-1549	Cr8	---->	R		465	0

2014				1549									
0				0	<b>0</b>	<b>0</b>		---->			0	0	
0				0									
0	1762		2121	0	<b>-1762</b>	<b>-2121</b>	R	---->	BV	terrasse, sol entre la porte de la vigie	-359	0	
1762				2121									
0	1762		788	0	<b>-1762</b>	<b>-788</b>		---->	Bq1		974	0	
1762				788									
0	1762		39	0	<b>-1762</b>	<b>-39</b>		---->	Bq2		1723	0	
1762				39									
0	1762		1762	0	<b>-1762</b>	<b>-1762</b>		---->	R		0	0	
1762				1762									