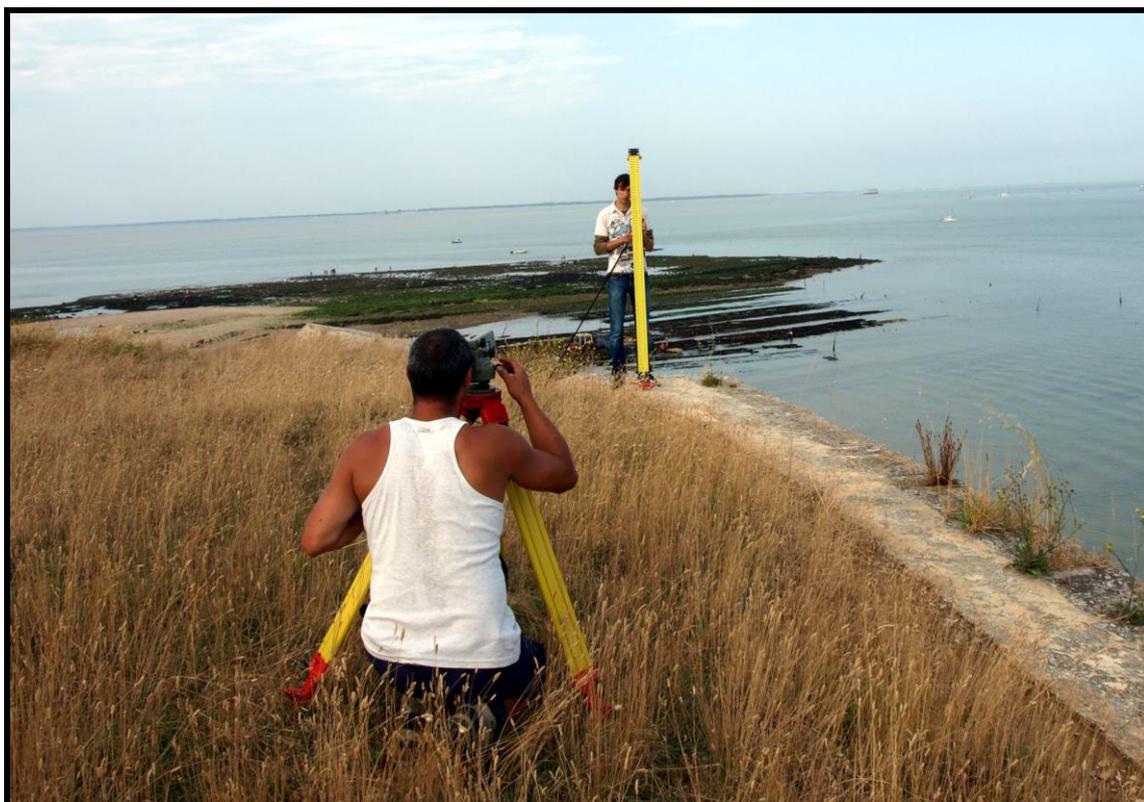


CAMPAGNE DE NIVELLEMENT ET D'OBSERVATIONS GPS AU FORT ENET (CHARENTE-MARITIME) Juillet - Août 2009

Thomas GOURIOU⁽¹⁾, Pascal TIPHANEAU et Guy WÖPPELMANN



⁽¹⁾ auteur correspondant : thomas.gouriou@univ-lr.fr

SOMMAIRE

1. Contexte et objectifs	3
2. Organisation de la campagne	
2.1. Contacts	
2.2. Matériel emporté.....	4
2.3. Déroulement des missions	
3. Présentation du site	5
3.1. Localisation	
3.2. Description des repères.....	6
4. Campagnes antérieures de mesures	12
4.1. Relation entre les zéros NGF	
4.2. Récapitulatif des mesures du 19 ^e siècle	
4.2.1. Détermination du zéro hydrographique	
4.2.2. Etude de Delbalat (1860).....	13
4.2.3. Etude de Bona-Christave (1868).....	14
4.3. Nivellement du SHOM en 1960.....	15
4.4. Historique du repère O.O.K3 - 42.....	16
5. Mesures et résultats	17
5.1. Positionnement par GPS	
5.2. Nivellement des différents repères.....	19
6. Discussion et conclusion	20
Références	22
<u>Annexe 1</u> : Comparaison entre les systèmes NGF Bourdalouë, Lallemand et IGN69.....	23
<u>Annexe 2</u> : Nivellement du SHOM en 1960.....	24
<u>Annexe 3</u> : Compte-rendu de la mission du 23 juillet 2009.....	27
<u>Annexe 4</u> : Diagramme de l'antenne GPS TPSPG_A1+GP.....	32
<u>Annexe 5</u> : Résultats des calculs GPS par la méthode PPP.....	33
<u>Annexe 6</u> : Détail des mesures de nivellement.....	34
<u>Annexe 7</u> : Article paru dans Sud Ouest le 21 août 2009.....	37

LISTE DE DIFFUSION

Externe :

- Françoise BELLANNE, copropriétaire du fort Enet
- Alain COULOMB, responsable du département de nivellement, SGN/IGN
- Ronan CREACH, chef de projet RONIM, SHOM
- Dominique DROIN, historien et guide du fort Enet
- Lucia PINEAU-GUILLOU, cellule hydrodynamique côtière, SHOM
- Nicolas POUVREAU, coordinateur national des mesures du niveau de la mer, SHOM
- Bénédicte ROUSSELOT, copropriétaire du fort Enet
- Mairie de l'île d'Aix, Conseil Général de la Charente-Maritime

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 Enet 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^e 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^e 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 Enet, il faudra vérifier leur stabilité dans le temps en comparant nos résultats aux résultats passés et vérifier également la stabilité du fort Enet par rapport au fort Boyard.

2. Organisation de la campagne

2.1. Contacts

- **Françoise BELLANNE** : copropriétaire du fort Enet
E-mail : francoise.bellanne@socgen.com
- **Dominique DROIN** : historien et guide du fort Enet
E-mail : dominique.droin@wanadoo.fr
- **Bénédictte ROUSSELOT** : copropriétaire du fort Enet
E-mail : rousseLOT.dorure@wanadoo.fr
- **Philippe BAROUX** : journaliste à Sud Ouest
E-mail : p.baroux@sudouest.com

2.2. Matériel emporté

- **le jeudi 23 juillet 2009 :** - *installation d'une station GPS*
 - 1 trépied bois LEICA
 - 1 embase avec plomb optique
 - 1 mallette TOPCON "GB-1000 UNAVCO package" contenant :
 - 1 récepteur "TOPCON GB-1000" SN/T225723 (désignation IGS : TPS GB-1000), firmware : 3.3, Dec,22,2008 p6
 - 1 antenne "TOPCON PG-A1 with Groundplane" SN/310-0972 (désignation IGS : TPSPG_A1+GP)
 - 1 boulon en alliage de bronze avec marque de centrage
 - 1 batterie ENERGY BOAT, 12 V, 70 Ah
 - 1 chargeur de batterie BATIUM 7/24
 - outillage divers (perceuse, pâte à scellement chimique, rallonge électrique etc.)

- **le mercredi 19 août 2009 :** - *désinstallation d'une station GPS*
- *nivellement géométrique*
 - 1 trépied bois LEICA (*déjà sur place*)
 - 1 embase avec plomb optique (*déjà sur place*)
 - 1 niveau optique de précision Leica NA2
 - 1 micromètre GPM3
 - 1 mire de précision avec ruban Invar de 2 mètres
 - 2 cannes pour stabiliser la mire
 - 2 embases crapauds
 - 1 ordinateur portable
 - 1 cahier de nivellement

- **le vendredi 21 août 2009 :** - *nivellement géométrique*
 - 1 trépied bois LEICA
 - 1 embase avec plomb optique
 - 1 niveau optique de précision Leica NA2
 - 1 micromètre GPM3
 - 1 mire de précision avec ruban Invar de 3 mètres
 - 2 cannes pour stabiliser la mire
 - 2 embases crapauds
 - 1 ordinateur portable
 - 1 cahier de nivellement

2.3. Déroulement des missions

- **le jeudi 23 juillet 2009** (Emmanuel BARDIERE, Nicolas LACHAUSSEE, Nicolas POUVREAU) :

09h45 : départ de l'Institut du Littoral et de l'Environnement direction Pointe de la Fumée (Fouras)

10h30 : rendez-vous avec Dominique DROIN au bout de la Pointe de la Fumée

11h : arrivée, à pied, au fort Enet et prise de contact avec la famille BELLANNE

11h - 13h : installation de la station GPS

13h15 : départ du fort Enet

• **le mercredi 19 août 2009** (Emmanuel BARDIERE, Thomas GOURIOU, Pascal TIPHANEAU) :

08h15 : départ de l'Institut du Littoral et de l'Environnement direction Pointe de la Fumée (Fouras)

08h45 : rendez-vous avec Bénédicte ROUSSELOT à Fouras

09h15 : arrivée, en Kangoo, au fort Enet

09h30 - 10h45 : désinstallation de la station GPS et nivellement géométrique

10h : rencontre avec Philippe BAROUX (Sud Ouest)

11h : départ du fort Enet

• **le vendredi 21 août 2009** (Emmanuel BARDIERE, Thomas GOURIOU, Pascal TIPHANEAU) :

10h : départ de l'Institut du Littoral et de l'Environnement direction Pointe de la Fumée (Fouras)

10h30 : rendez-vous avec Dominique DROIN au bout de la Pointe de la Fumée

10h45 : arrivée, en Kangoo, au fort Enet

11h - 12h15 : nivellement géométrique

12h30 : départ du fort Enet

3. Présentation du site

3.1. Localisation

Le fort Enet 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 2,5 km de la jetée Sainte Catherine de l'île d'Aix et à environ 5,5 km du fort Boyard (*schéma 1*). Le fort, situé sur la commune de Fouras, est une propriété privée et appartient aux familles Bellanné et Rousselot.

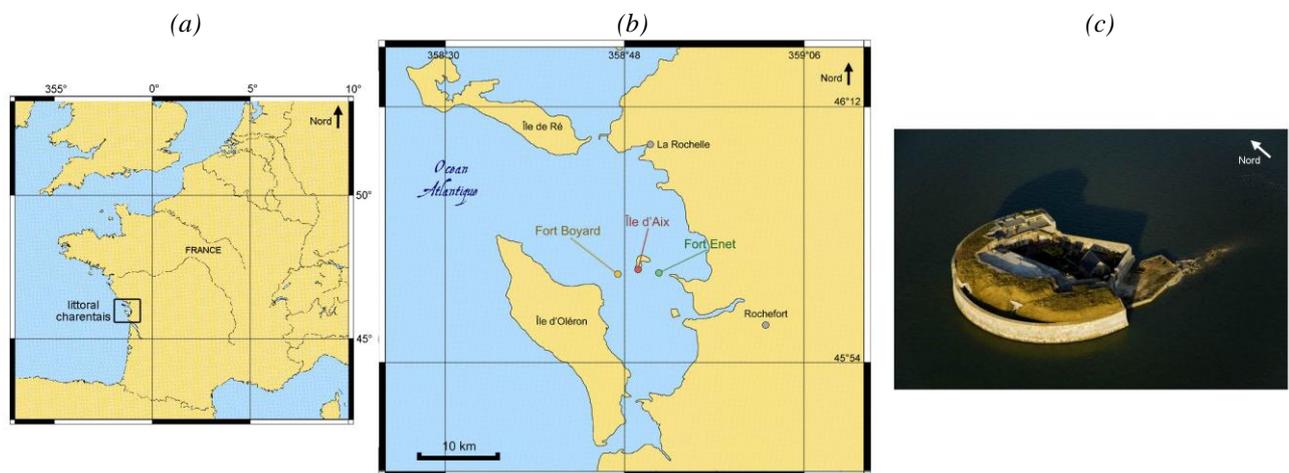


schéma 1 : (a) carte de la France avec localisation du littoral charentais ; (b) carte du littoral charentais avec localisation du fort Enet ; (c) photo du fort Enet (© Francis Leroy, 2006)

3.2. Description des repères

Comme nous le verrons dans le prochain chapitre, plusieurs campagnes de mesures ont eu lieu au fort Enet ou à proximité depuis le 19^e siècle. Au cours de ces campagnes, différents repères ont été choisis et cotés. Après une première vue d'ensemble (*schéma 2*), nous allons détailler chacun de ces repères.

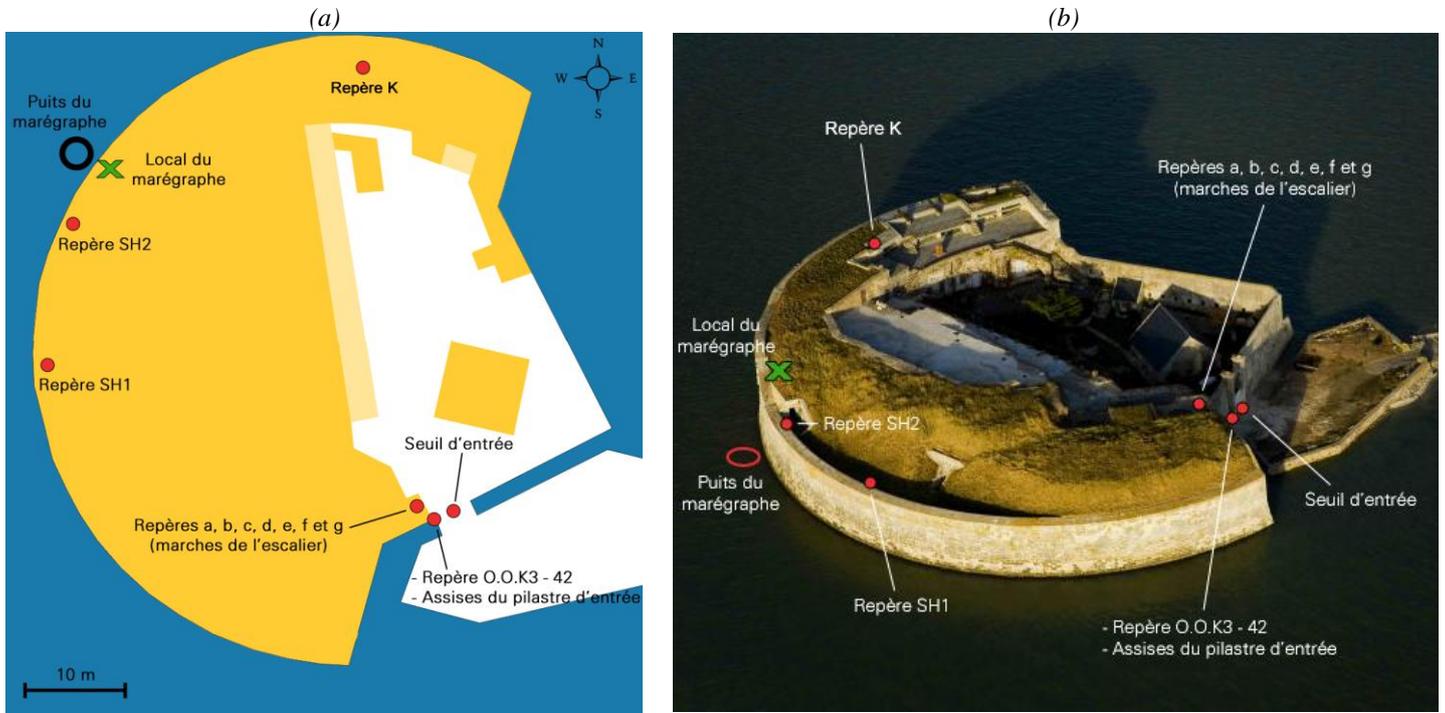


schéma 2 : localisation des différents repères répertoriés au fort Enet (a) fond de carte provenant du site internet du plan cadastral français (<http://cadastre.gouv.fr>) ; (b) photo de Francis Leroy, 2006

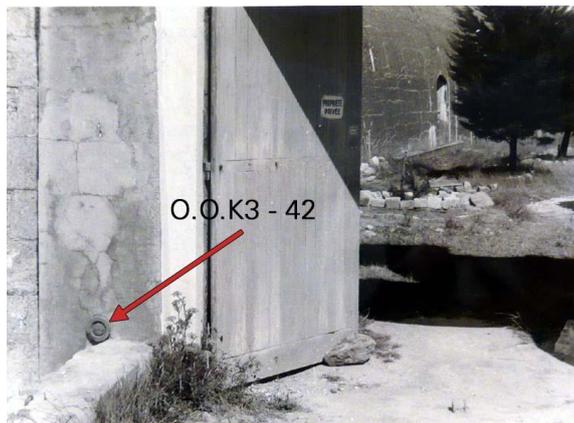
Seuil d'entrée (**existant**) et Assises du pilastre ouest (**détruits**)

1860	1960	2009

Description : Le seuil d'entrée est le repère principal utilisé par Delbalat en 1860 et existe toujours. Il s'agit du sol de la porte d'entrée, au pied du pilastre ouest. Plusieurs marques gravées sur le pilastre ouest ont servi de repères en 1860. Ces marques ont aujourd'hui disparues à la suite de la rénovation des deux pilastres en juillet 2008.

Repère O.O.K3 – 42 (existant)

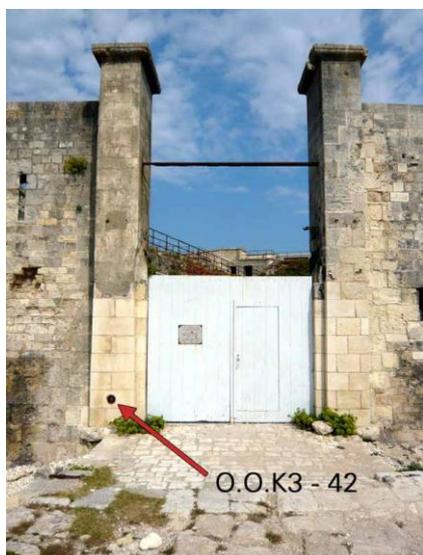
1960



2004



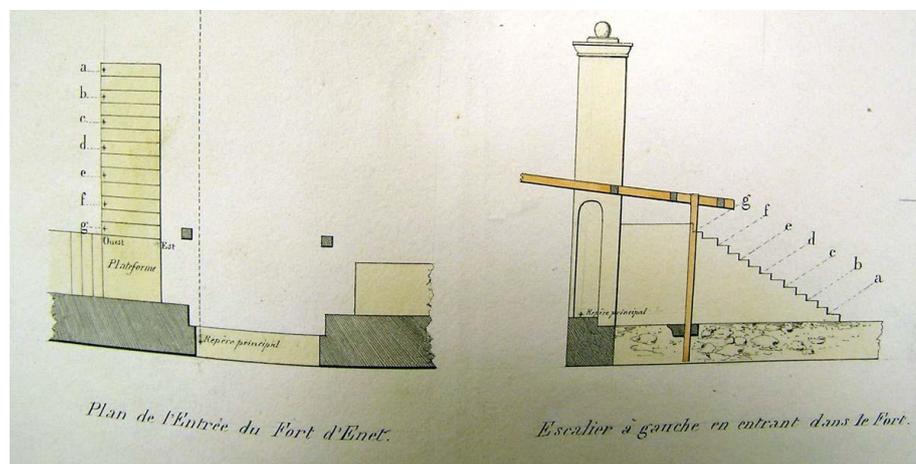
2009



Description : scellé sur le pilastre gauche (= pilastre ouest) de l'entrée du fort Enet, à l'extérieur du fort, face Est. C'est un repère de type « Bourdalouë, Charente inférieure ». Lors de sa campagne de nivellement, le SHOM avait donné le nom « NGF-42 » à ce repère. Pour plus de précisions, se référer au paragraphe 4.3

Repères a, b, c, d, e, f et g (détruits)

1860



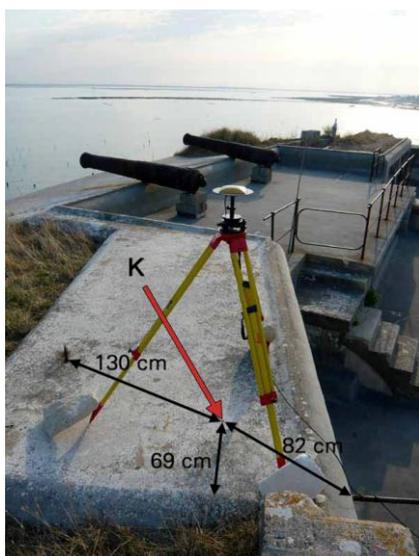
2009



Description : marches de l'escalier situé à l'entrée du fort, juste sur la gauche après avoir passé le seuil de la porte d'entrée. L'escalier existant aujourd'hui est différent de celui indiqué sur les plans de 1860. Il n'a pas la même configuration ni le même nombre de marches (13 en 1860 contre 19 en 2009). Le nivellement réalisé permettra de confirmer que ces repères ont disparu.

Repère K (existant)

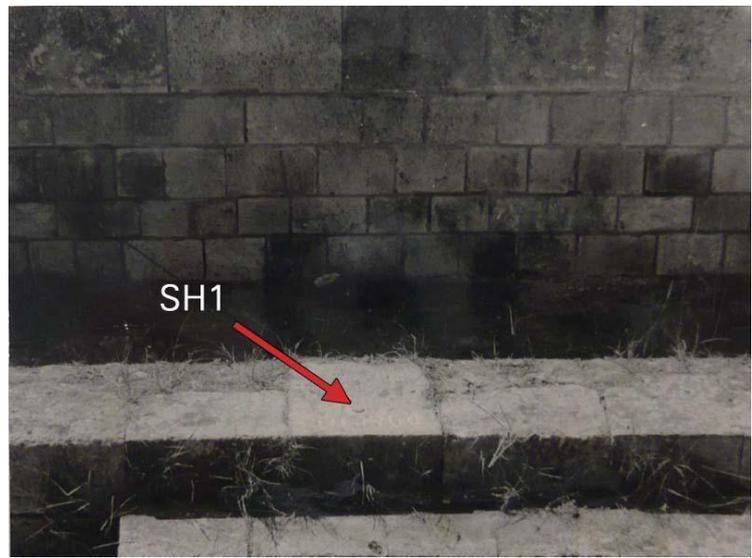
2009



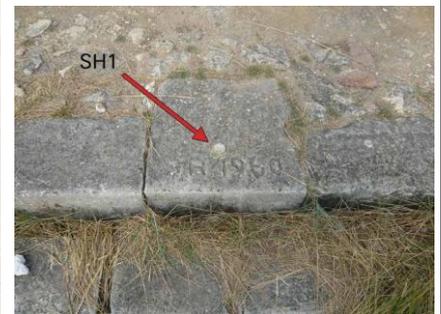
Description : boulon en alliage de bronze (comportant une marque de centrage) scellé par une équipe de l'UMR LIENSs le 23 juillet 2009, à proximité de la terrasse des canons, au nord du fort. Il est situé à 69 cm du bord ouest, 82 cm de la rambarde métallique et 130 cm d'un anneau scellé.

Repère SH1 (existant)

1960



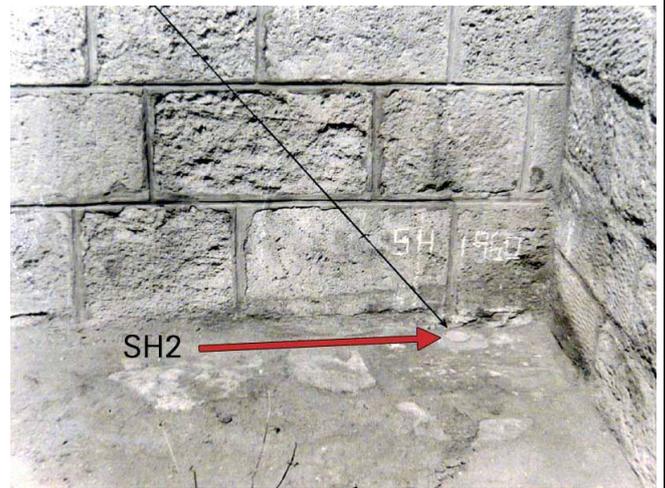
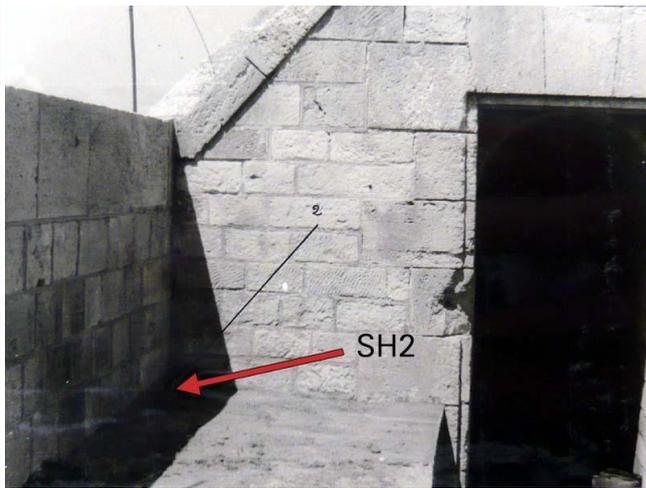
2009



Description : soupape scellée par le SHOM en 1960, située sur le chemin de ronde à l'ouest du fort, avec l'inscription SH 1960 gravée juste en dessous

Repère SH2 (existant)

1960



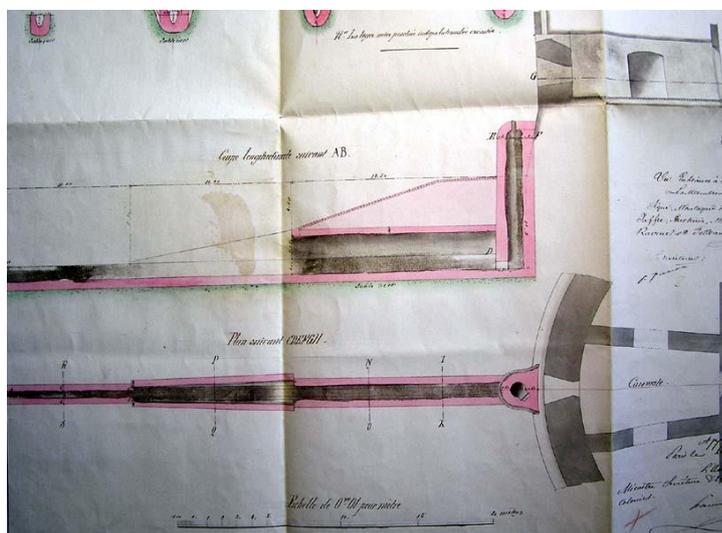
2009



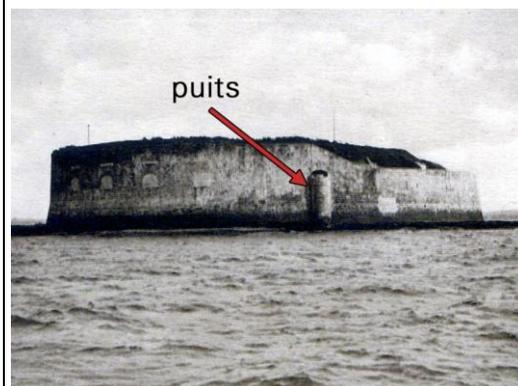
Description : soupape scellée par le SHOM en 1960, à quelques mètres au nord du repère SH1, située sur le chemin de ronde à l'ouest du fort, avec l'inscription SH1960 gravée juste au dessus

Marégraphe : local et puits

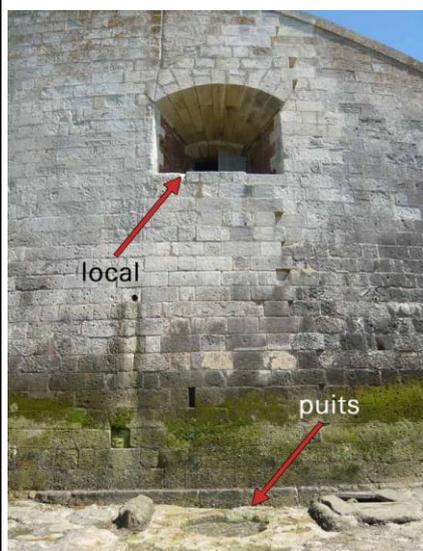
1858



entre 1920 et 1930



2009



Description : le marégraphe était installé dans une casemate située à l'ouest du fort, du côté de l'île d'Aix. Le tambour enregistreur du marégraphe était relié à un flotteur se trouvant dans le puits accolé au mur d'enceinte du fort. Ce puits se serait écroulé lors du tremblement de terre du 7 septembre 1972 (intensité : 7, épicentre : Dolus d'Oleron). Aujourd'hui, on peut encore observer la base du puits, à l'extérieur du fort, puits qui est presque entièrement obstrué. La casemate ayant accueilli le marégraphe a été entièrement détruite et de nouvelles constructions en ont complètement modifiées l'architecture interne.

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 1860 jusqu'à ce jour, au fort Enet. 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.

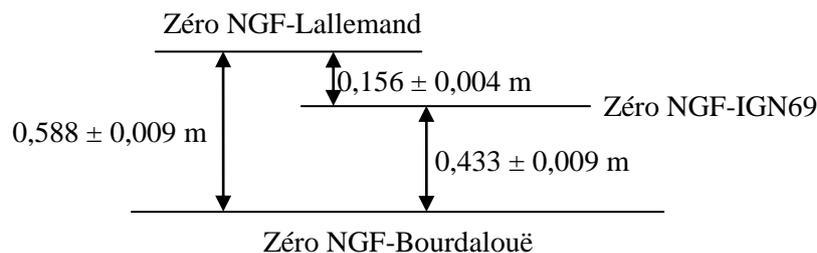


schéma 4 : situation des différentes origines des réseaux NGF utilisés au fort Enet depuis 1860

4.2. Récapitulatif des mesures du 19^e siècle

4.2.1. Détermination du zéro hydrographique

Au cours du 19^e 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^e 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 description :

- 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

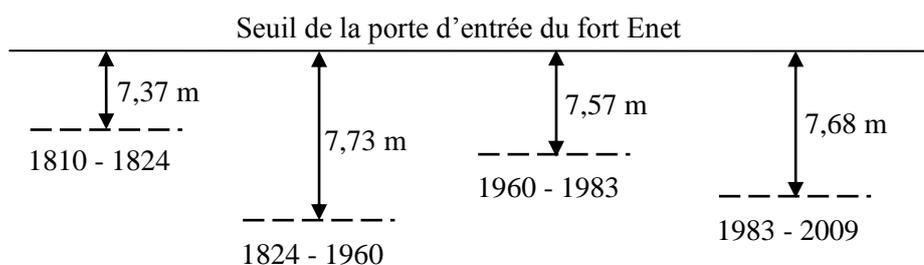


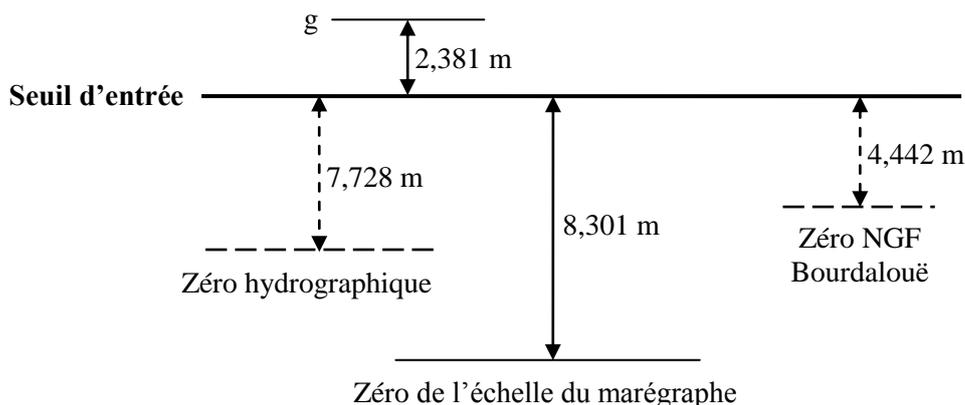
schéma 4 : situation des différents zéros hydrographiques utilisés à l'île d'Aix de 1810 à 2009

4.2.2. Etude de Delbalat (1860)

Le marégraphe du fort Enet a été installé le 04 juillet 1859. L'année suivante, Delbalat publiait les résultats de son nivellement le long de la Charente, depuis fort Enet jusqu'à Rochefort. Delbalat avait alors pris, comme repère fondamental, le seuil de la porte d'entrée du fort Enet. La précision de ce nivellement est très bonne, en effet, « le nivellement direct d'Enet à Rochefort, comprenant environ 60 kilomètres dans l'aller et le retour, a donné une différence maximum de 18 millimètres dans les quatre résultats obtenus par l'opérateur et le lecteur », soit une erreur d'environ 0,3 mm par kilomètre. Quelques résultats de Delbalat concernant le fort Enet sont présentés ici.

Nom actuel	Description de 1860	Cote rapportée au zéro Delbalat (± 0,001 m)
Seuil d'entrée	Seuil de la porte d'entrée du fort d'Enet (à toucher le pilastre ouest), repère fondamental	10,000
Assises du pilastre ouest	Les cotes sont indiquées sur le plan dessiné par Delbalat (cf. <i>page 6</i>)	
a	Marches de l'escalier situé à gauche en entrant dans le fort	10,004
b		10,413
c		10,812
d		11,207
e		11,602
f		11,987
g		12,381
Plateforme est		12,600
Plateforme ouest		12,583
Zéro de l'échelle du marégraphe en 1859		1,699
Zéro hydrographique à Enet en 1858		2,272
Zéro NGF-Bourdalouë en 1860, au fort Enet		5,558

tableau 2 : récapitulatif des différentes cotes mesurées au fort Enet lors de l'étude de Delbalat en 1860



*schéma 5 : cotes des différents repères mesurés par Delbalat en 1860.
L'incertitude de ces mesures est de l'ordre de ± 0,001 m.*

4.2.3. Etude de Bona-Christave (1868)

En 1868, Bona-Christave, alors capitaine de vaisseau et directeur du port de Rochefort, a réalisé une étude récapitulative des différents plans de nivellement, échelles de marée, seuils et repères utilisés par le passé, depuis Rochefort jusqu'à l'île d'Aix. Parmi les résultats qu'il publie se trouvent quelques valeurs intéressantes pour notre étude. Bona-Christave confirme la valeur reliant le zéro Delbalat et le zéro NGF-Bourdalouë (à l'époque, plusieurs repères étaient cotés dans les deux systèmes à la fois). Au fort Enet, le zéro NGF-Bourdalouë est donc à la cote +5,558 m par rapport au zéro Delbalat (en effet, le seuil de la porte d'entrée est à la cote +10,000 m Delbalat et +4,442 m NGF-Bourdalouë), comme indiqué dans le *tableau 2*.

D'autre part, la position du zéro de l'échelle du marégraphe du fort Enet n'ayant pas toujours été la même, Bona-Christave a fait un récapitulatif de sa position, de 1858 à 1868 :

Position du zéro de l'échelle du marégraphe			
Date	Cote rapportée au zéro NGF-Bourdalouë	D'après l'étude de :	
1858	-3,470 ± 0,001 m	Delbalat	- 0,389
1859	-3,859 ± 0,002 m	Delbalat	
1863	-4,057 ± 0,001 m	Bouquet de la Grye	+ 0,78
mars 1868	-3,28 ± 0,04 m	Bona-Christave	

tableau 3 : cote des positions du zéro de l'échelle du marégraphe du fort Enet, de 1858 à 1868

4.3. 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 au fort Enet, lors d'une traverse « fort Enet - île d'Aix », le 02 août 1960 [MHCFA, 1960].

Au cours de ce nivellement, les ingénieurs hydrographes du SHOM ont scellé au sol deux soupapes dans le chemin de ronde situé à l'ouest du fort, côté île d'Aix et fort Boyard. Ces soupapes ont été nommées SH1 et SH2.

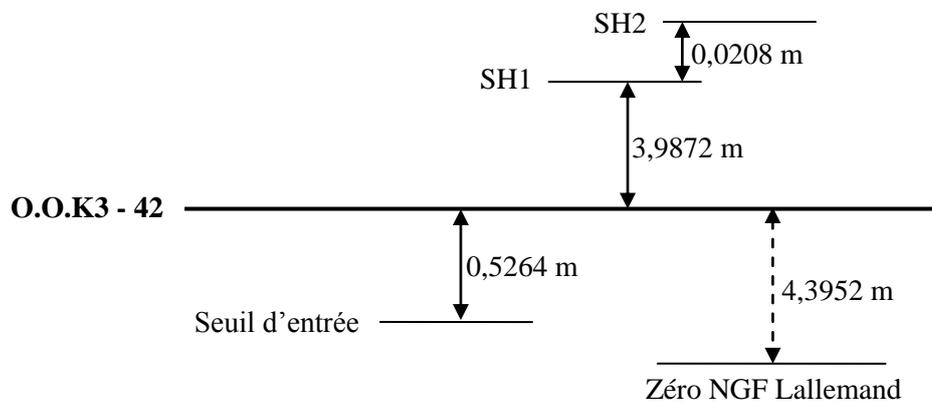
Ils ont ensuite rattaché le repère SH1 au repère O.O.K3 - 42 de la porte d'entrée (dont l'altitude était connue, déterminée par l'Institut Géographique National), puis ils ont rattaché le repère SH2 au repère SH1. Tous les détails de ces rattachements se trouvent dans l'annexe 2.

Quelques jours plus tard, le 09 août 1960, ces mêmes ingénieurs ont également rattaché le seuil d'entrée du fort au repère O.O.K3 - 42. En effet, ce seuil est une référence historique pour déterminer le zéro hydrographique du fort Enet (cf. paragraphe 4.1).

Bilan des repères de 1960 :

Nom actuel (ancien nom)	Description de 1960	Cote rapportée au zéro NGF-Lallemand (± 0,0005 m)
O.O.K3 - 42 (NGF-42)	scellé dans l'un des piliers de la grande porte du Fort d'Enet, repère fondamental	4,3952 (02 août 1960)
SH1	scellé dans le chemin de ronde à l'ouest du fort	8,3824 (02 août 1960)
SH2	soupape scellée dans le chemin de ronde du fort à quelques mètres au nord de SH1	8,4032 (02 août 1960)
Seuil d'entrée	palier de la porte d'entrée du Fort d'Enet	3,8689 (09 août 1960)

tableau 4 : récapitulatif des différentes cotes mesurées par le SHOM en 1960 au fort Enet



*schéma 6 : position relative des différents repères mesurés par le SHOM en 1960.
L'incertitude de ces mesures est de l'ordre de $\pm 0,0005$ m.*

4.4. Historique du repère O.O.K3 - 42

Le repère O.O.K3 - 42 est scellé sur le pilastre gauche du portail d'entrée du fort Enet, face Est. C'est un repère de type « Bourdalouë, Charente inférieure », observé pour la première fois par l'Institut Géographique National (IGN) en 1957. Son altitude orthométrique a alors été mesurée et déterminée à 4,3952 m dans le réseau du Nivellement Général de la France de l'époque, c'est-à-dire le réseau NGF-Lallemand. Puis, en 1986, l'altitude de ce repère a été recalculée par l'IGN pour passer au nouveau réseau du Nivellement Général de la France, le réseau NGF-IGN69. Son altitude normale a alors été calculée à 4,5504 m. D'où une différence de 0,1552 m entre les deux origines des réseaux NGF-Lallemand et NGF-IGN69 au fort Enet. Ce qui correspond 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>).

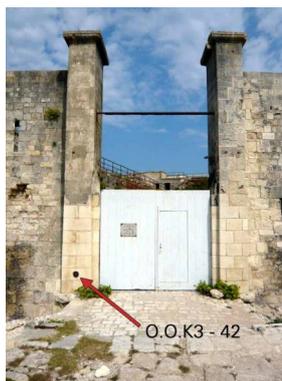


Schéma 7 : photos du repère O.O.K3-42 et de son environnement, après la rénovation de juillet 2008

Au début de l'été 2008, des travaux de rénovation ont été réalisés sur les pilastres du portail d'entrée du fort Enet. Au cours de ces travaux, le repère O.O.K3 - 42 a été retiré du pilier gauche **sans en avertir les autorités responsables (IGN)**. Cette intervention, sous la responsabilité des architectes des bâtiments de France, a été réalisée en dehors du cadre législatif relatif aux infrastructures géodésiques. L'IGN n'a pas été contacté (communication personnelle avec le responsable du département du Nivellement à l'IGN), et plus grave, le repère a été retiré, puis replacé « *au même endroit* » selon les informations apportées par le contremaître ayant réalisé les travaux. Notre campagne de mesures nous permettra de contrôler ce repère et d'avoir une première estimation de son déplacement lors des travaux. L'IGN sera informé de nos résultats afin de minimiser l'impact de l'action malheureuse des bâtiments de France.

Altitude du repère O.O.K3 - 42		
Date	Cote ($\pm 0,0005$ m)	Réseau de référence
1957	4,3952	NGF-Lallemand
1986	4,5504	NGF-IGN69
2009	?	NGF-IGN69

tableau 5 : cote des altitudes du repère O.O.K3 - 42 de 1957 à 2009

5. Mesures et résultats

5.1. Positionnement par GPS

Nous avons installé une station temporaire de positionnement par GPS au fort Enet, du 23 juillet 2009 au 18 août 2009, soit sur une période de 27 jours consécutifs. La station GPS de type géodésique a été installée à proximité de la terrasse des canons, au nord (*schéma 8*). Le compte-rendu de mission de cette installation est dans l'annexe 3. L'antenne GPS a été posée sur un bloc en béton, au dessus du sol de la terrasse, tandis que le récepteur GPS ainsi qu'une batterie et son chargeur ont été installés dans une chambre de l'habitation principale (*schéma 9*), située au dessous de la terrasse des canons. L'horizon était dégagé et il n'y avait aucun masque pour les observations GPS.



Schéma 8 : localisation de la station GPS temporaire au fort Enet

L'antenne GPS a été installée sur un trépied Leica en bois qui a été stabilisé avec des pierres ramassées aux alentours du fort. Le support choisi pour cette antenne étant une terrasse en béton, des pré-trous ont été percés dans le sol pour que les pointes du trépied de glissent pas. 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 une rallonge en aluminium d'une hauteur de 10 cm.



Schéma 9 : photos de l'antenne et du récepteur GPS, avec sa batterie

Concernant l'alimentation électrique de la station GPS, nous avons branché le récepteur sur le secteur, dans la chambre où était installé le matériel. Pour pallier à d'éventuelles coupures d'alimentation, une batterie ainsi qu'un chargeur de batterie ont également été installés, permettant de prendre le relais en cas de coupure d'électricité.

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 K et le rebord de l'antenne GPS ont été successivement réalisées par Nicolas LACHAUSSEE (NL) et Nicolas POUVREAU (NP). Ces mesures (en mètre) sont des distances inclinées et ont été réalisées à la canne (tableau 6).

NL	1,418	1,418	1,418	1,418	1,418	1,418	Moyenne : 1,418 m
NP	1,418	1,418	1,418	-	-	-	

tableau 6 : différence de hauteurs obliques entre le repère K et le rebord du plateau 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 4 :

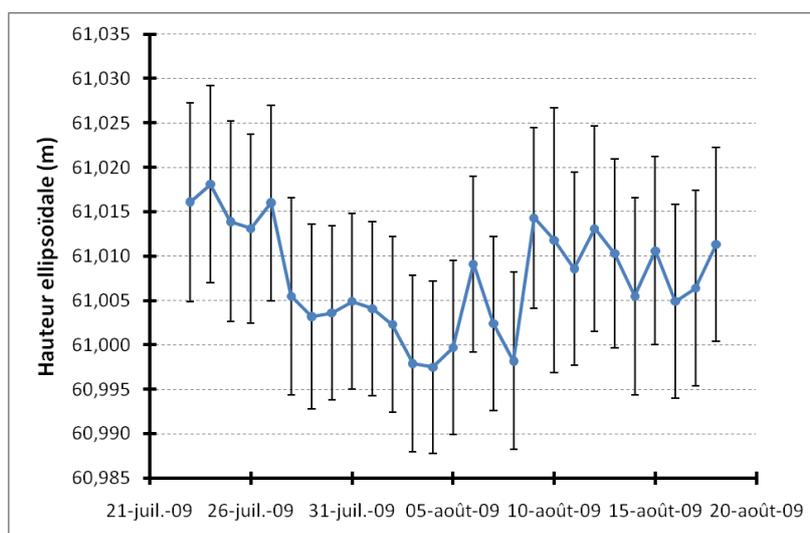
$$H_{ARP} = \sqrt{1,418^2 - 0,1^2} - 0,0275 = 1,387 \text{ m}$$

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).

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 7 est dans l'annexe 5.

Moyenne du positionnement par GPS du repère K (± moyenne des incertitudes des mesures)	
Latitude	46°00'14,040 ± 0,003"
Longitude	-1°08'35,354 ± 0,006"
Hauteur ellipsoïdale	61,01 ± 0,01 m
Altitude	14,15 ± 0,03 m

tableau 7 : coordonnées géographiques du repère K, 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 K entre le 23 juillet et le 18 août 2009 au fort Enet dans l'ITRF2005 par rapport à l'ellipsoïde IAG-GRS 1980

5.2. Nivellement des différents repères

Six repères différents ont été observés par nivellement de précision aller-retour, au cours de deux missions les 19 et 21 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 ces deux nivellements est de l'ordre d'un millimètre à chaque fois. A partir du repère K, nous avons déterminé les dénivelés des autres repères. Les résultats sont présentés ci-dessous (le détail du nivellement est dans l'annexe 6).

Nom actuel (ancien nom)	Dénivelé par rapport au repère K ($\pm 0,0005$ m)
O.O.K3 - 42 (NGF-42)	- 9,5712
SH1	- 5,5758
SH2	- 5,5547
Seuil d'entrée	- 10,1070
g	- 6,8117

tableau 8 : dénivelés entre le repère K et les autres repères mesurés en 2009 au fort Enet

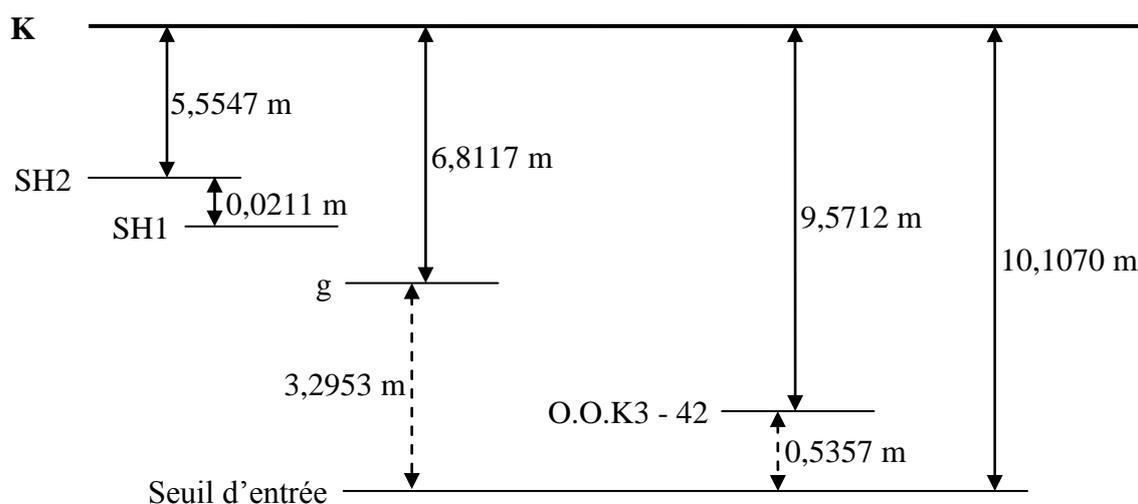


schéma 10 : situation relative des différents repères mesurés en 2009.
L'incertitude de ces mesures est de l'ordre de $\pm 0,0005$ m.

6. Discussion et conclusion

A partir des coordonnées géographiques du repère K, obtenues par le positionnement par GPS et à partir des résultats du nivellement, reliant le repère K aux autres repères du fort Enet, nous pouvons déterminer une altitude approximative des six repères mesurés au cours de l'été 2009. Voici le tableau récapitulatif des altitudes de ces repères en 2009, mais aussi en 1860 et en 1960 :

Nom actuel (ancien nom)	Cote rapportée au zéro NGF-IGN69		
	1860 ($\pm 0,009$ m)	1960 ($\pm 0,004$ m)	2009 ($\pm 0,03$ m)
K	-	-	14,15
O.O.K3 - 42 (NGF-42)	-	4,551	4,58
SH1	-	8,538	8,57
SH2	-	8,559	8,59
Seuil d'entrée	4,009	4,025	4,04
g	6,390	-	7,34

tableau 9 : altitude des repères du fort Enet, de 1860 à 2009, dans le système NGF-IGN69

La précision obtenue lors du calcul de l'altitude du repère K à l'aide du logiciel CIRCE étant centimétrique, une comparaison des altitudes 1860, 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 SH1 (qui à priori devrait être le repère le plus stable) et les trois autres repères communs aux années 1960 et 2009, afin d'estimer d'éventuels mouvements verticaux entre ces quatre repères :

Nom actuel (ancien nom)	Dénivelé par rapport au repère SH1 ($\pm 0,0005$ m)		
	1960	2009	
SH2	0,0208	0,0211	+ 0,0003
O.O.K3 - 42 (NGF-42)	- 3,9872	- 3,9954	- 0,0082
Seuil d'entrée	- 4,5109	- 4,5312	- 0,0203

tableau 10 : dénivelés entre le repère SH1 et trois autres repères mesurés en 1960 et 2009 au fort Enet

La différence de dénivelé entre 1960 et 2009 pour le repère SH2 étant inférieure à l'incertitude de mesure, nous pouvons considérer que les repères SH1 et SH2 n'ont pas bougé entre eux. La différence d'environ 2 cm entre 1960 et 2009 pour le seuil de la porte d'entrée est probablement due à l'endroit exact où a été posée la mire de nivellement. En effet, les agents du SHOM ont posé leur mire au centre du seuil de la porte d'entrée du fort alors que nous l'avons posé au pied du pilastre ouest, comme l'avait fait Delbalat en 1860. Enfin, nous pouvons avoir une première estimation du déplacement du repère O.O.K3-42 suite aux travaux de rénovation des pilastres en juillet 2008. Ce repère a donc été abaissé d'environ **0,008 \pm 0,001 m**.

La nouvelle altitude normale du repère O.O.K3-42 est donc de **4,542 \pm 0,001 m NGF-IGN69**.

A partir de cette nouvelle altitude, et en prenant en compte uniquement les résultats du nivellement de l'été 2009, nous pouvons maintenant recalculer les altitudes des repères nivelés au cours de l'été (*tableau 11*).

Nom actuel (ancien nom)	Cote rapportée au zéro NGF-IGN69		
	1860 ($\pm 0,009$ m)	1960 ($\pm 0,004$ m)	2009 ($\pm 0,001$ m)
K	-	-	14,113
O.O.K3 - 42 (NGF-42)	-	4,551	4,542
SH1	-	8,538	8,537
SH2	-	8,559	8,559
Seuil d'entrée	4,009	4,025	4,007
g	6,390	-	7,302

tableau 11 : altitude des repères du fort Enet, de 1860 à 2009, dans le système NGF-IGN69

- A la vue de ces nouveaux résultats, nous pouvons confirmer que l'escalier situé à gauche en entrant dans le fort a bel et bien été détruit et reconstruit entre 1860 et 2009. En effet, il existe une différence de 0,91 m pour l'altitude de g entre 1860 et 2009.

- Les repères SH1 et SH2 sont stables entre eux et n'ont pas bougé entre 1960 et 2009, l'écart détecté (0,0003 m) étant plus petit que l'incertitude de mesure.

- Nous pouvons aussi noter que le seuil de la porte d'entrée est stable entre 1860 et 2009 dans un repère local et à l'incertitude près puisque l'écart constaté est de $0,002 \pm 0,009$ m (l'incertitude provenant de la relation entre les réseaux NGF-Bourdaloué et IGN69). La stabilité de ce repère est importante car c'était le repère fondamental de Delbalat en 1860.

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. Afin de confirmer le déplacement de 8 mm du repère O.O.K3-42, il serait également souhaitable d'effectuer un nivellement en aller-retour depuis le repère O.O.K3-41 (ou 38), situé à la Pointe de la Fumée.

Le paragraphe 4.2.1 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^e 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.

Les résultats obtenus ici seront croisés et analysés avec ceux du fort Boyard 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.
- nouveau nivellement aller-retour des repères SH1, SH2, K, g, O.O.K3-42 et seuil de la porte d'entrée
- discuter avec les partenaires du SHOM quant aux différentes déterminations du zéro hydrographique
- transmettre à l'IGN les résultats du nivellement du repère O.O.K3-42 après la rénovation des pilastres

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 : 2D⁴5t.
- 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^{ème} 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 : 2D⁴5y.
- Mannevy, MHCFAN (1960).** « Fiche d'observation de la marée ». Archives du SHOM.
- Ortais, MHF (1964).** « Fiche descriptive d'observatoire de marée ». Archives du SHOM.
- Plouviez, MHCFAN (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
Ecart-Type 0,004 **-0,588**
0,009

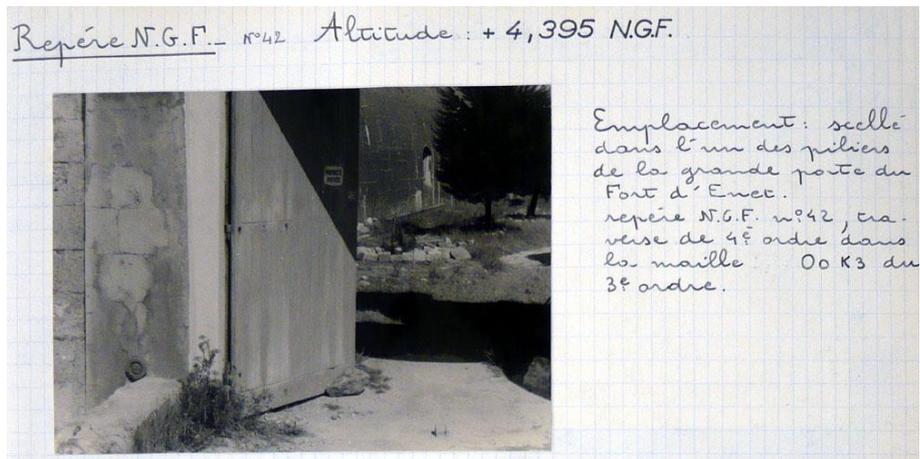
Annexe 2

Nivellement du SHOM en 1960

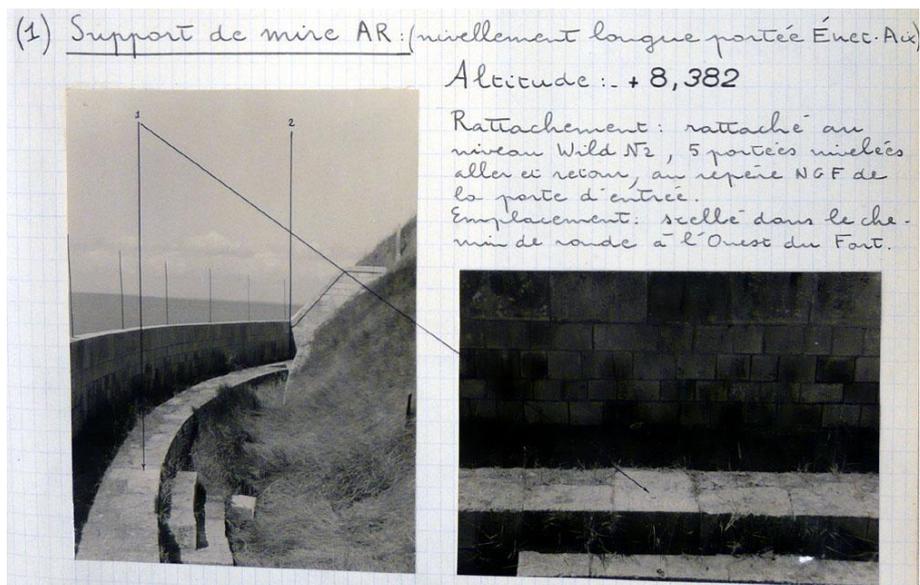
Extrait des cahiers de nivellement :

« Nous avons scellé deux soupapes au sol (SH1 et SH2). Nous avons ensuite rattaché SH1 au repère NGF n°42 de la porte d'entrée (4,395m, traverse de 4^e ordre dans la maille OO43 du 3^e ordre) à l'aide d'un niveau Wild N2, par 5 portées nivelées aller retour (8,382m). Puis, nous avons rattaché SH2 au repère SH1 à l'aide d'un niveau Wild N2, par 1 portée (8,402m).

Emplacement repère NGF : scellé dans l'un des piliers de la grande porte du Fort d'Enet



Emplacement SH1 (support de mire AR, nivellement longue portée Enet-Aix) : scellé dans le chemin de ronde à l'ouest du fort.



Emplacement SH2 (support de mire spéciale, nivellement longue portée Enet-Aix) : soupape scellée dans le chemin de ronde du fort à quelques mètres au nord de SH1.



Détail des calculs :

• Nivellement du NGF-42 au repère SH1, journée du 02 août 1960 :

5 stations avec aller et retour, deux séries de visées I et II, niveau Zeiss Ni2

\sum lecture AR I = 11858,5 \sum lecture AR II = 11858,6
 \sum lecture AV I = 7871,8 \sum lecture AV II = 7871,9

\sum AR I - AV I = 3986,7 \sum AR II - AV II = 3986,7
 moyenne aller: \sum AR - AV = 3986,7

\sum lecture AR I = 7,8226 \sum lecture AR II = 7,8221
 \sum lecture AV I = 11,8101 \sum lecture AV II = 11,8101

\sum AR I - AV I = - 3,9875 \sum AR II - AV II = - 3,9880
 moyenne retour: \sum AR - AV = - 3987,75

moyenne aller-retour : 3986,72 (erreur de calcul)

altitude du repère SH1 = altitude repère NGF-42 + 3986,7 = 4395 + 3986,7 = 8381,7 mm

CORRECTION DU CALCUL : 4395,2 + 3987,225 = 8382,425 mm

• Nivellement du repère SH1 au repère SH2, journée du 02 août 1960 :

niveau Wild N2 n°509

mire sur repère SH1 (support mire AR)	1365,5	1361,75
mire sur repère SH2 (support mire spéciale)	1344,75	1341,0
lecture AR – lecture AV	20,8 mm	20,7 mm
moyenne lecture AR – lecture AV : 20,75 mm		

altitude du repère SH2 = altitude repère SH1 + 20,7 = 8381,7 + 20,7 = 8402,4 mm

CORRECTION DU CALCUL : $8382,425 + 20,75 = 8403,175$

• Repère hydrographique du Fort d'Enet :

Palier de la porte d'entrée du Fort d'Enet. Situé à 7,73 m au dessus du zéro des cartes (Beautemps-Beaupré 1824, Delbalat 1858, Bouquet de la Grye 1864).

Nivellement au niveau Zeiss Ni2, journée du 09 août 1960

Mire sur repère NGF-42	1,1463	1,1462
Mire sur palier de la porte d'entrée	1,6727	1,6725
lecture AR – lecture AV	-0.5264	-0,5263
moyenne lecture AR – lecture AV : -0,52635		

altitude du palier = altitude repère NGF-42 – 0,52635 = 4,395 – 0,52635 = 3,869 m

altitude hydrographique du palier = 3,869 + 3,88 = 7,749 m

CORRECTION DU CALCUL : $4,3952 - 0,52365 = 3,86885$ m

Annexe 3

Compte-rendu de la mission du jeudi 23 juillet 2009

	Mission sur le Fort Enet (23/7/2009) Compte-rendu (27/07/2009) Rédacteurs : E. Bardière, N. Pouvreau et T. Gouriou
---	---

Participants	Laboratoire / Structure	Titre / Fonction
Emmanuel Bardière (<i>EB</i>)	ENSG (Institut Géographique National)	Elève ingénieur
Nicolas Lachaussée (<i>NL</i>)	LIENSs (Université de La Rochelle)	Technicien
Nicolas Pouvreau (<i>NP</i>)	LEGOS (CNES)	Chercheur contractuel
Contacts sur le terrain		
Dominique Droin (<i>DD</i>)	Fort Enet	Historien et Guide
Françoise Bellanné (<i>FB</i>)	Fort Enet	Copropriétaire
Excusés (à informer)		
Thomas Gouriou (<i>TG</i>)	LIENSs (Université de La Rochelle)	Chercheur doctorant
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 :

Installation d'une station GPS temporaire

1. Préambule

- Départ de l'Institut du Littoral et de l'Environnement à 09h45 pour se rendre à la Pointe de la Fumée (Fouras), où le rendez-vous avec *DD* est fixé à 10h30, heure de rendez-vous pour la visite touristique de Fort Enet. Arrivée sur le Fort vers 11h (environ 30 minutes de marche à pied depuis la Pointe de la Fumée).
- Après un premier contact avec quelques membres de la famille Bellanné (copropriétaire), en vacances sur le Fort ce jour là, *EB* et *NL* installent la station GPS temporaire tandis que *NP* reste avec la famille Bellanné afin de leur présenter le projet dans sa globalité. *FB*, fille d'André Bellanné et devenue copropriétaire du Fort elle aussi, est en effet très intéressée par ce projet.

2. Installation d'une station GPS temporaire

- La station GPS de type statique a été installée à proximité de la terrasse des canons, au Nord du Fort Enet (latitude : $46^{\circ}00'14,2''$ N ; longitude : $1^{\circ}08'34,9''$ O ; schéma 1).

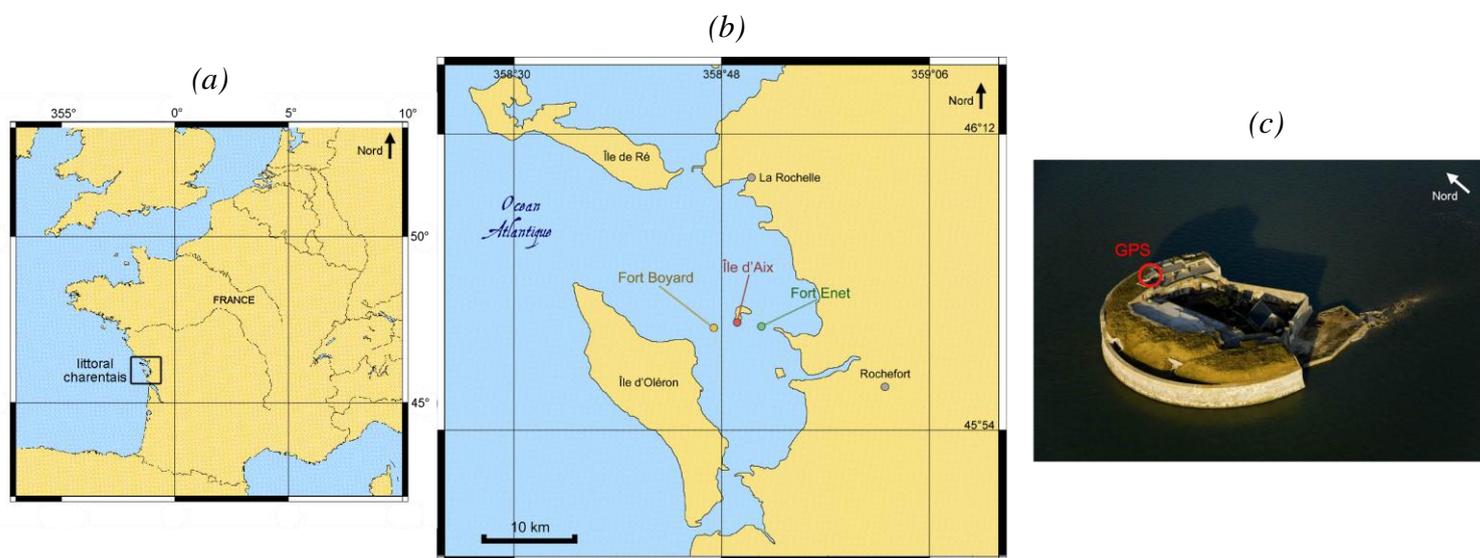


schéma 1 : (a) carte de la France avec localisation du littoral charentais ; (b) carte du littoral charentais avec localisation de Fort Enet ; (c) photo de Fort Enet (© Francis Leroy, 2006) indiquant l'emplacement de l'antenne GPS

- L'antenne GPS est posée à environ 1,8 m au dessus du sol de la terrasse, sur un bloc en béton (photos 1 et 2), tandis que le récepteur GPS ainsi qu'une batterie et son chargeur sont installés dans une chambre de l'habitation principale (photo 3), située au dessous de la terrasse des canons. L'horizon est dégagé et il n'y a aucun masque pour les observations GPS. Le temps était orageux avec une succession de grains parfois violents.



photo 1 : l'antenne GPS



photo 2 : l'antenne GPS près des canons



photo 3 : le récepteur GPS, la batterie et son chargeur

- L'antenne GPS a été installée sur un trépied Leica en bois qui a été stabilisé avec des pierres ramassées aux alentours du Fort (*photo 4*). De plus, le support choisi pour cette antenne étant une terrasse en béton, des pré-trous ont été percés dans le sol pour que les pointes du trépied de glissent pas. 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 10 cm.



photo 4 : NL, FB, DD et NP autour de l'antenne GPS

- Concernant l'alimentation électrique de la station GPS, nous avons pu brancher le récepteur sur le secteur, dans la chambre où est installé le matériel. Pour pallier à d'éventuelles coupures d'alimentation, une batterie ainsi qu'un chargeur de batterie ont également été installés, permettant de prendre le relais en cas de coupures.
- Le repère installé au sol (*schéma 2*) 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).

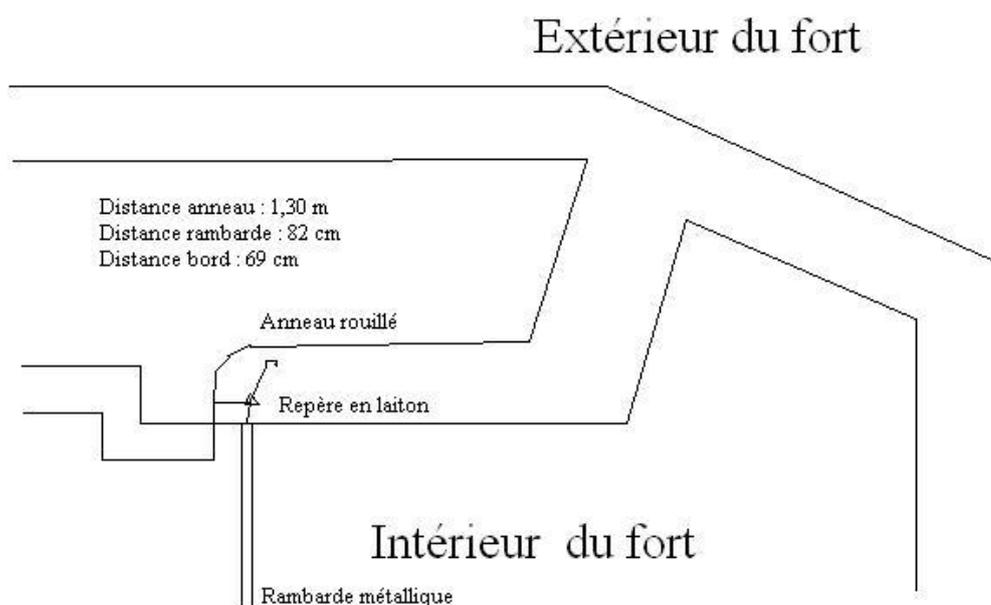


schéma 2 : localisation précise du repère installé à l'aplomb de l'antenne GPS

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

<i>NL</i>	141,8	141,8	141,8	141,8	141,8	141,8
<i>NP</i>	141,8	141,8	141,8			

Moyenne : 141,8 cm

3. Rencontre avec les copropriétaires (famille Bellanné)

- Pendant que *EB* et *NL* installaient la station GPS, *NP* est resté à l'intérieur de l'habitation avec les membres et amis de la famille Bellanné afin de répondre à leurs questions et de leur expliquer en détail le projet d'installation d'une station GPS temporaire et plus globalement, le projet de reconstruction d'une série temporelle du niveau de la mer à partir des trois sites : île d'Aix, Fort Enet et Fort Boyard.
- *NP* a donc expliqué que les observations du niveau de la mer sont un des indicateurs du changement climatique et que les mesures séculaires du niveau marin sont très rares. Or, justement, il existe plusieurs jeux de mesure dans le secteur de la rade de Rochefort. *NP* a ensuite parlé de l'histoire de la marégraphie sur le littoral charentais pour la période 1824-1970 en précisant que les plus anciennes observations du niveau de la mer réalisées dans ce secteur dataient de 1824, sur l'île d'Aix.
- Puis, avec les progrès techniques de la navigation et la proximité du port militaire de Rochefort, il devenait important de connaître précisément la marée dans l'estuaire de la Charente afin de pouvoir la prédire. Le site de Fort Enet fut alors choisi pour accueillir un marégraphe, qui sera installé au prix de grandes dépenses (construction d'un ouvrage important comprenant une

maçonnerie faisant office de puits de tranquillisation et d'un tunnel sous-terrain permettant au puits d'être en communication permanente avec la mer).

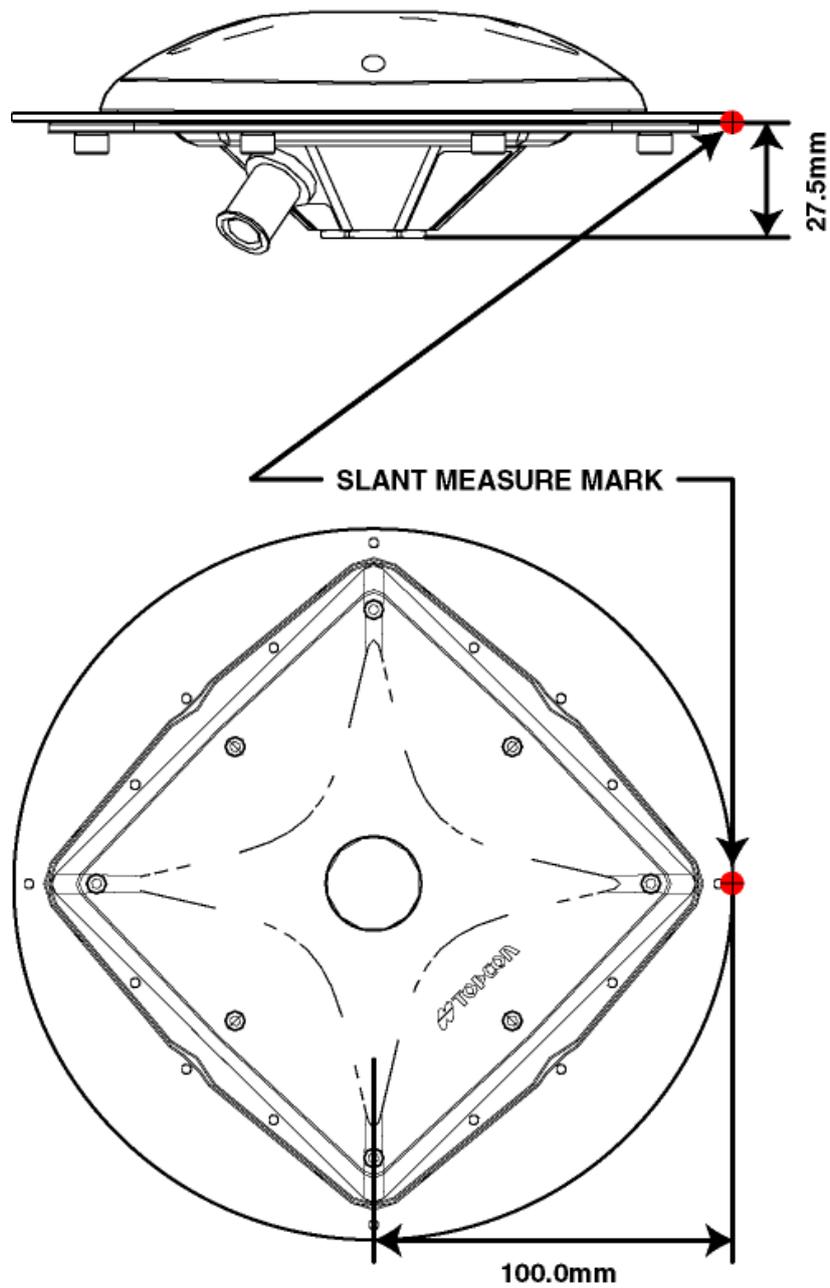
- Les difficultés techniques se multipliant (envasement et obstruction fréquents du tunnel sous-terrain), le marégraphe a donc été déplacé du Fort Enet au Fort Boyard le 3 juin 1873 où il fonctionnera jusqu'au 15 mai 1909. *NP* a également raconté les conditions de vie difficile des observateurs de marée qui vivaient sur le Fort avec leur famille, conditions qui ont conduit à l'arrêt des mesures marégraphiques.
- *NP* a aussi expliqué que ce programme de recherche est piloté par *TG*, chercheur doctorant à l'Université de La Rochelle et encadré par *GW*, son directeur de thèse et responsable français du programme international GLOSS de l'UNESCO. *NP* a indiqué son rôle passé et présent en signalant qu'il a travaillé il y a quelques années sur les prémices de ce projet, notamment en quantifiant le potentiel scientifique de cette zone géographique et en travaillant aujourd'hui sur un programme de recherche financé par le CNES : « *Long term trend components in sea level from tide gauge and satellite altimetry records* » qui fait partie intégrante des travaux de recherche sur lesquels travaillent *TG* et *GW*.
- *NP* n'avait pas de plans de Fort Enet avec lui, ce qui rendait ses explications un peu délicates, cependant *FB* et sa famille se sont montrés très attentifs et intéressés. L'accueil sur le Fort a été excellent (café et apéritif partagés, et histoires personnelles relatives au Fort échangées) ! *NP* a signalé à *FB* que *TG* viendrait à Fort Enet le samedi 25 juillet et qu'elle pourrait le rencontrer à cette occasion. A la fin de sa visite, *DD* s'est joint à l'équipe déjà présente. Il s'est associé à *FB* pour exprimer la crainte de voir l'antenne GPS déplacée par le vent.
- *EB* et *NP* ont ensuite expliqué l'intérêt d'effectuer de telles mesures GPS sur des sites ayant servis d'observatoire du niveau de la mer. *FB* a émis le souhait d'être informée des futurs résultats de l'étude et d'avoir une copie des documents en notre possession concernant Fort Enet, exprimant un vif intérêt et une réelle curiosité pour notre étude. *FB* ne souhaite pas de dédommagement pour l'électricité consommée par la station GPS (pour rappel, estimation du coût : 0,35 Euros par mois).
- *EB*, *NL* et *NP* ont quitté Fort Enet vers 13h15, pour un retour à l'Institut du Littoral et de l'Environnement, via la Pointe de la Fumée.



Annexe 4

Diagramme de l'antenne GPS TPSPG_A1+PG

Topcon PG-A1 with Ground Plane



Annexe 5

Résultats des calculs GPS par la méthode PPP

Jour	Latitude				Longitude				Hauteur ellipsoïdale	
	Degrés	Minutes	Secondes	Incertitude	Degrés	Minutes	Secondes	Incertitude		Incertitude
23-juil-09	46	0	14,0399	0,0025	-1	8	35,3537	0,0058	61,0161	0,0112
24-juil-09	46	0	14,0401	0,0027	-1	8	35,3536	0,0060	61,0181	0,0111
25-juil-09	46	0	14,0401	0,0026	-1	8	35,3536	0,0060	61,0139	0,0113
26-juil-09	46	0	14,0400	0,0024	-1	8	35,3533	0,0055	61,0131	0,0106
27-juil-09	46	0	14,0402	0,0025	-1	8	35,3537	0,0057	61,0160	0,0110
28-juil-09	46	0	14,0400	0,0025	-1	8	35,3536	0,0058	61,0055	0,0111
29-juil-09	46	0	14,0401	0,0024	-1	8	35,3540	0,0054	61,0032	0,0104
30-juil-09	46	0	14,0402	0,0022	-1	8	35,3540	0,0051	61,0036	0,0098
31-juil-09	46	0	14,0402	0,0023	-1	8	35,3541	0,0053	61,0049	0,0099
01-août-09	46	0	14,0400	0,0023	-1	8	35,3538	0,0053	61,0041	0,0098
02-août-09	46	0	14,0401	0,0023	-1	8	35,3542	0,0052	61,0023	0,0099
03-août-09	46	0	14,0399	0,0023	-1	8	35,3541	0,0054	60,9979	0,0099
04-août-09	46	0	14,0400	0,0023	-1	8	35,3539	0,0055	60,9975	0,0097
05-août-09	46	0	14,0399	0,0024	-1	8	35,3536	0,0054	60,9997	0,0098
06-août-09	46	0	14,0400	0,0024	-1	8	35,3537	0,0055	61,0091	0,0099
07-août-09	46	0	14,0401	0,0023	-1	8	35,3537	0,0054	61,0024	0,0098
08-août-09	46	0	14,0401	0,0025	-1	8	35,3536	0,0054	60,9982	0,0100
09-août-09	46	0	14,0403	0,0024	-1	8	35,3538	0,0056	61,0143	0,0102
10-août-09	46	0	14,0401	0,0039	-1	8	35,3541	0,0079	61,0118	0,0149
11-août-09	46	0	14,0401	0,0025	-1	8	35,3540	0,0057	61,0086	0,0109
12-août-09	46	0	14,0399	0,0025	-1	8	35,3541	0,0063	61,0131	0,0116
13-août-09	46	0	14,0400	0,0024	-1	8	35,3540	0,0056	61,0103	0,0106
14-août-09	46	0	14,0400	0,0026	-1	8	35,3543	0,0061	61,0055	0,0111
15-août-09	46	0	14,0400	0,0026	-1	8	35,3540	0,0056	61,0106	0,0106
16-août-09	46	0	14,0401	0,0025	-1	8	35,3539	0,0057	61,0049	0,0109
17-août-09	46	0	14,0399	0,0025	-1	8	35,3536	0,0058	61,0064	0,0110
18-août-09	46	0	14,0399	0,0026	-1	8	35,3537	0,0058	61,0113	0,0109
Moyenne	46	0	14,040	0,002	-1	8	35,354	0,006	61,01	0,01

Annexe 6

Détail des mesures de nivellement

Nivellement du mercredi 19 août 2009 :

COUPS ARRIERE			COUPS AVANT					Niveau leica NA2 SONEL n°5427060, Mire invar de 2m Port autonome			Opérateur : PT, Porte mire : Manu Bardière & Thomas Gouriou	
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			Dénivelés	
						Arrière	Avant	Repérage			Ech. I	Ech. II
-45910	15755		15544		-45699	30155	30155	S1	---->	S2	211	211
15755		45910		45699	15544							
-46865	16711		1350		-31505	30154	30155	S2	---->	Cr1	15361	15360
16711		46865		31505	1350							
-49475	19321		1577		-31732	30154	30155	Cr1	---->	Cr2	17744	17743
19321		49475		31732	1577							
-49221	19066		2202		-32357	30155	30155	Cr2	---->	Cr3	16864	16864
19066		49221		32357	2202							
-41514	11359		5781		-35936	30155	30155	Cr3	---->	R	5578	5578
11359		41514		35936	5781							
-36149	5994		11572		-41727	30155	30155	R	---->	Cr1	-5578	-5578
5994		36149		41727	11572							
-31528	1373		18245		-48399	30155	30154	Cr1	---->	Cr2	-16872	-16871
1373		31528		48399	18245							
-32450	2295		18531		-48686	30155	30155	Cr2	---->	Cr3	-16236	-16236
2295		32450		48686	18531							
-31665	1511		18372		-48527	30154	30155	Cr3	---->	S2	-16861	-16862
1511		31665		48527	18372							
-46075	15920		16130		-46285	30155	30155	S2	---->	S1	-210	-210
15920		46075		46285	16130							

0				0	0	0		----		0	0	
0				0								
-33550	3395		18510		-48665	30155	30155	R	----	Cr1	-15115	-15115
3395		33550		48665	18510							
-33697	3543		19076		-49231	30154	30155	Cr1	----	Cr2	-15533	-15534
3543		33697		49231	19076							
-31985	1830		10495		-40650	30155	30155	Cr2	----	Cr3	-8665	-8665
1830		31985		40650	10495							
-39571	9416		18298		-48453	30155	30155	Cr3	----	Cr4	-8882	-8882
9416		39571		48453	18298							
-31565	1410		18693		-48848	30155	30155	Cr4	----	Cr5	-17283	-17283
1410		31565		48848	18693							
-39892	9737		12429		-42584	30155	30155	Cr5	----	R	-2692	-2692
9737		39892		42584	12429							

Nivellement du vendredi 21 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			Ech. I	Ech. II
	Arrière	Avant	Repérage									
-34190	4035		24403		-54558	30155	30155	R	---->	Cr1	-20368	-20368
4035		34190		54558	24403							
-31002	846		23629		-53784	30156	30155	Cr1	---->	Cr2	-22783	-22782
846		31002		53784	23629							
-34586	4432		26826		-56981	30154	30155	Cr2	---->	Cr3	-22394	-22395
4432		34586		56981	26826							
-34586	4432		29397		-59553	30154	30156	Cr2	---->	Repère g (marche escalier entrée)	-24965	-24967
4432		34586		59553	29397							
-31112	957		28339		-58494	30155	30155	Cr3	---->	Cr4	-27382	-27382
957		31112		58494	28339							
-36266	6112		8897		-39052	30154	30155	Cr4	---->	Bourdaloüë	-2785	-2786
6112		36266		39052	8897							
-38503	8348		13705		-43860	30155	30155	Bourdaloüë	---->	seuil porte d'entrée, repère principal	-5357	-5357
8348		38503		43860	13705							
-38503	8348		5562		-35717	30155	30155	Bourdaloüë	---->	Cr5	2786	2786
8348		38503		35717	5562							
-57834	27679		1984		-32138	30155	30154	Cr5	---->	Cr6	25695	25696
27679		57834		32138	1984							
-58611	28455		4363		-34518	30156	30155	Cr6	---->	Cr7	24092	24093
28455		58611		34518	4363							
-48022	17867		1987		-32142	30155	30155	Cr7	---->	Cr8	15880	15880
17867		48022		32142	1987							
-59580	29425		2167		-32322	30155	30155	Cr8	---->	R	27258	27258
29425		59580		32322	2167							

Annexe 7

Article paru dans Sud Ouest le 21 août 2009

ÉLÉVATION DU NIVEAU DES OCÉANS Fort Enet pour labo - Chare... <http://www.sudouest.com/charente-maritime/actualite/article/683580/m...>

ÉLÉVATION DU NIVEAU DES OCÉANS. Une équipe de l'Institut du littoral calcule l'évolution depuis le XIXe siècle

Fort Enet pour labo



Depuis le sommet du rempart de Fort Enet, une équipe universitaire travaille sur l'élévation du niveau de la mer. (Photo dominique julian)

Au siècle dernier, les océans de la planète se sont élevés de 20 centimètres. À défaut de disposer de marégraphes dans chaque recoin du littoral, il faut se contenter de cette moyenne. Ce qui ne facilite pas les projections dans le futur, que s'activent pourtant à tracer les équipes scientifiques.

Une zone maritime du département va cependant faire exception. Une équipe de l'Institut du littoral (1), ce bras que l'université de La Rochelle tend vers la mer et la côte, concentre ses efforts sur les quelques kilomètres contenus dans le triangle Fort-Boyard-île d'Aix-Fort Enet. Une figure géométrique qui balise les contours d'une thèse de troisième cycle, dont la conclusion devrait être rendue dans un an. Aux manettes, Thomas Gouriou, chercheur doctorant, traque « l'évolution du niveau marin depuis le XIXe siècle, sur le littoral charentais ».

Un marégraphe en 1859

Pour lui et les collègues qui l'assistent en ce moment, Pascal Tiphaneau, technicien de l'université, et Emmanuel Bardière, stagiaire de l'École d'ingénieur de l'Institut géographique national, les vacances sont donc studieuses. En juillet, ils posaient deux balises GPS sur le rempart de Fort Enet, ainsi qu'à Fort Boyard. Hier et avant-hier, ils relevaient les appareils que les satellites de positionnement ont survolés plusieurs centaines de fois. Sous chaque GPS a été disposé un clou, point de référence.

« Le GPS permet d'en connaître la position exacte, dans trois directions, et notamment l'altitude. » Une fois les relevés GPS réalisés, l'équipe armée d'une lunette optique a ensuite planté sa mire dans le décor à partir du clou, comme le ferait le géomètre. À Fort Enet, des points de références laissés depuis 1960 par le Service hydrographique et océanographique de la marine (le Shom, à qui l'on doit notamment le calcul des marées sur les côtes de France) ont été recoupés sur la nouvelle table de référence que sont en train d'étalonner les chercheurs. Il en a été de même pour le seuil de la porte du fort. Il était le repère retenu pour l'installation d'un marégraphe sur le site, en 1859.

L'exercice n'a rien d'ésotérique. Il n'est que relevés et calculs scientifiques. Le quidam aurait plus vite fait de décrocher une bernique du rocher... Mais la science avance, nous dit-on. Et en l'occurrence avec le concours de l'histoire !

Richesse des archives

C'est en effet par un passage dans les archives que ces recherches ont débuté. Thomas Gouriou y a retrouvé « des mesures historiques du niveau de la mer. Aix, en 1824 ; Fort Enet, de 1859 à 1873 en continu ; Fort Boyard de 1873 à 1909. » Le chercheur va fondre ces trois séries de mesures en une. Et les nouveaux repères qu'il prend aujourd'hui sur le terrain permettront le rattachement à ces données historiques, avec une précision au millimètre près. « Ce qui donnera une image nette de l'élévation du niveau de l'eau sur une période de cinquante ans », poursuit le thésard.

En dessous d'une telle période, impossible de dégager une tendance fiable. Même en immergeant demain un marégraphe, il faudrait attendre cinq décennies pour savoir ce qui se passe. L'équipe ne fera pas l'économie d'une telle installation (projetée sur l'île d'Aix). Mais déjà, les références historiques lui offrent ce nécessaire recul sur la durée. De surcroît à une période clé du déclenchement de cette élévation. « Des séries de relevés semblent indiquer que l'élévation aurait débuté entre le milieu du XIXe et le milieu du XXe. » Les données sur lesquelles travaillent les universitaires rochelais leur permettront, peut-être, de le confirmer.

Auteur : Philippe Baroux

Tags : Charente Maritime Environnement Nature Actualité

 [Lancer l'impression](#)

SUDOUEST.COM

Toute l'actualité régionale avec Sudouest.com

A découvrir : [Blogsudouest.com](#), créez votre blog gratuit / Annonces en ligne : [Auto](#), [Immo](#), [Emploi](#), [Légales](#).

L'annuaire des associations (Béarn, Charente, Charente Maritime, Dordogne, Gers, Gironde, Landes, Lot-et-Garonne, Pays Basque)