



# **PRESENTATION DES TRAVAUX DU PHARE D'AIX MEMOIRE**

OCTOBRE 2014



Version	Rédacteur	Observations
Version finalisée - octobre 2014	<b>Ch.BLEYNIE</b> Chef de Subdivision de La Rochelle	/

**Préambule :**

*La présentation succincte des travaux du phare d'Aix a pour but d'informer les services qui seront amenés à réaliser des opérations similaires.*

*Sur demande, la subdivision pourra fournir les diaporamas qui ont servi lors des réunions publiques et les éléments complémentaires permettant de mieux comprendre les techniques employées.*

# **SOMMAIRE**

## **I. Un peu d'histoire...**

## **II. Le rôle du Phare d'Aix**

## **III. La problématique de l'ouvrage**

## **IV. Les travaux :**

- a) L'amenée des matériels ;
- b) L'installation de chantier ;
- c) Le montage de l'échafaudage ;
- d) L'injection des fissures et le rejointoiement des maçonneries ;
- e) Dépose de la coupole ;
- f) Implantation, carottages et mise en place des armatures ;
- g) Suivi géométrique de l'ouvrage ;
- h) Peinture et pose lanterne ;
- i) Remise en service ;
- j) Démontage et évacuation échafaudage – Injection dans les fondations ;
- k) Remise en état des abords ;
- l) Site après peinture par la régie de la tour porte écran – suivi dynamique après travaux.

## **V. Le coût de l'opération**

## I. Un peu d'histoire... :

Dès l'origine, en 1841, le phare de l'île d'Aix est un établissement à secteur coloré.

Il est composé que d'une seule tour de 16 m avec un feu fixe à son sommet.

Comme beaucoup de système de ce type, les limites des secteurs que le phare signale, et leurs amplitudes ne sont pas nettes en raison de l'importance de l'angle d'indécision entre deux couleurs.

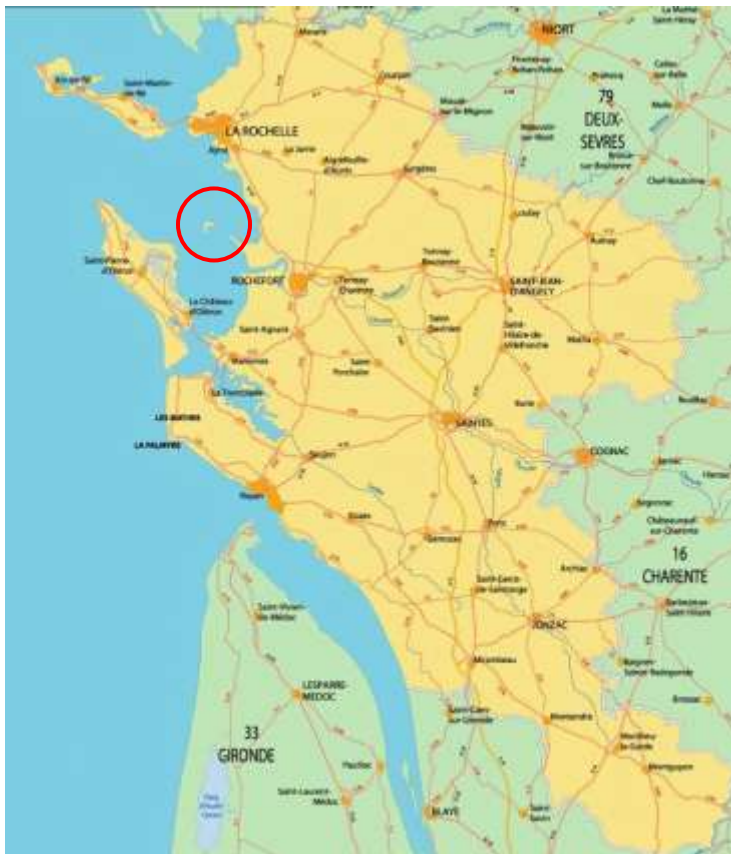
A cela, il vient se rajouter, un inconvénient supplémentaire, la très mauvaise qualité du verre de l'époque.

En 1889, soit 48 ans après, pour répondre aux besoins des marins qui souhaitaient un feu à éclats clairement identifiable tout en indiquant la zone saine des navires sortant de La Charente, le feu fixe est changé.

Il devient donc feu à éclats et une deuxième tour est construite d'une hauteur de 15 m.

Cette tour, porte-écran de couleur rouge, intercepte les éclats blancs émis par la tour porte feu.

Ce procédé colore mieux le secteur (écran éloigné de la source lumineuse) mais celui-ci devient, surtout, beaucoup plus franc pour les navigateurs.



*Ile d'Aix*



*Pointe sud de Ile d'Aix – Vue en plan des deux tours*



*Phare de l'Ile d'Aix*

Cette technique atypique a été également employée par le service des Phares et Balises en Corse pour le phare de Senetosa.



Allumé en 1892, avec un bâtiment en pierres de taille entre les deux tours, il signale les dangers de Latoniccia et les roches des Moines.

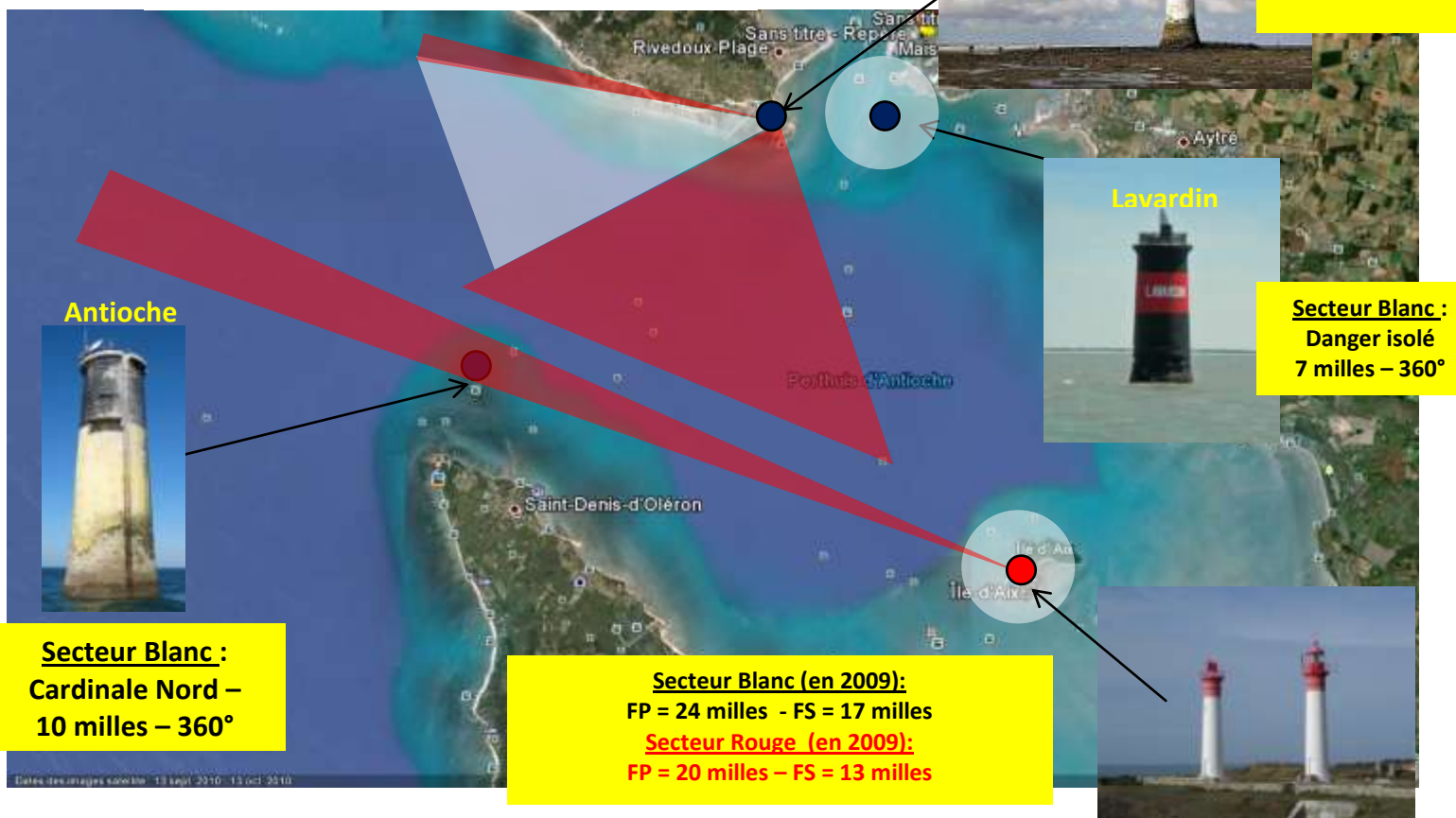
Ce type de dispositif, du fait du coût occasionné par la construction d'une seconde tour, ne sera plus déployé par le service.

## II. Le rôle du Phare d'Aix :

Le phare tient le même rôle qu'en 1889.

Il signale la zone dangereuse d'Antioche dans son secteur rouge et permet aux navigateurs de venir vers Aix par son secteur blanc.

*Etat de la Signalisation Maritime autour d'Aix*

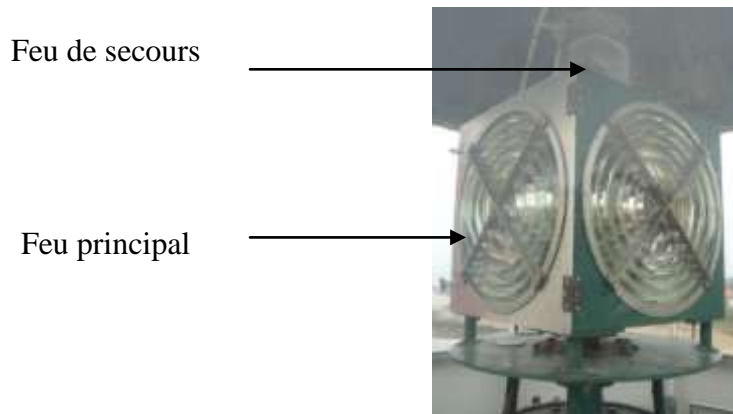


En 2009, au moment du constat du phénomène décrit ci-après, le feu principal qui reposait sur une cuve à mercure, avait une portée de 24 milles (+ de 44 km) dans le secteur blanc et de 20 milles (37 km) dans le secteur rouge.

Voyant l'instabilité potentielle de l'ouvrage, la cuve a été vidée et le mercure a été évacué et stocké à la subdivision de La Rochelle.

Le feu principal ne pouvant plus tourner, le feu de secours a été automatiquement enclenché.

Ce dernier qui a une portée de 17 milles (+ de 31 km) dans le secteur blanc et de 13 milles (24 km) dans le secteur rouge, a toujours fonctionné jusqu'au début des travaux.



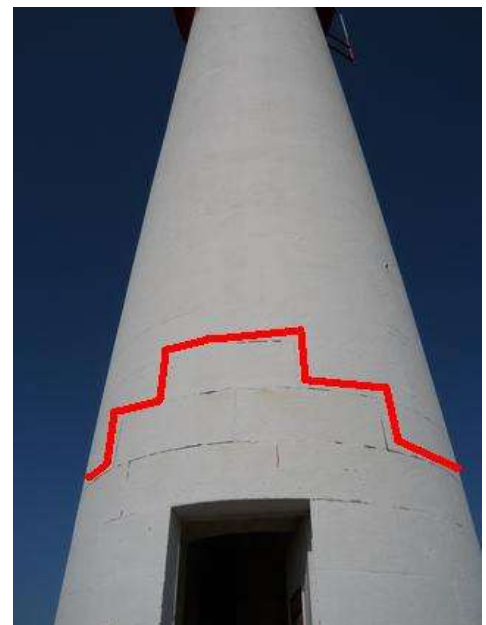
Pour information, ce phare qui est télécontrôlé depuis la subdivision, fait partie des 8 phares à terre du département.

### III. La problématique de l'ouvrage :

Lors d'une inspection des ouvrages en septembre 2009, il est apparu que le fût portant la lanterne était fissuré horizontalement à une hauteur de 2 m environ au dessus du sol.



*Schéma de fissuration sur la face ONO*



*Schéma de fissuration sur la face*  
6 sur 27

Cette fissuration qui, lors de vents forts mettait l'ouvrage en vibration de façon anormale, a conduit le service, par principe de précaution, à interdire l'accès et à installer un périmètre de sécurité autour de l'ouvrage.

A la suite, des études ont donc été lancées et des investigations du CETE Sud-Ouest (aujourd'hui CEREMA) comprenant notamment une instrumentation de l'ouvrage et une reconnaissance radar du terrain, se sont déroulées d'octobre 2009 à mai 2010.

De ces études, les conclusions étaient que :

« Le phare est sollicité par le sillage de la tour-écran (solicitation dynamique due aux tourbillons de Karman) :

- **Cette sollicitation dynamique excite un ou plusieurs modes propres de la structure à partir de vitesses de vent de 10 à 12 m/s (soit 40 km/h) ;**
- **La modification du comportement du phare est due à un assouplissement lent de la structure qui a diminué progressivement les fréquences propres de l'ouvrage jusqu'à ce que celui-ci puisse être mis en vibration par les tourbillons de la tour porte écran ;**
- **Le matériau constitutif de l'ouvrage a connu une lente dégradation avec des phénomènes de micro kartzification (érosion hydraulique et hydrochimique), de dissolution du calcaire (CaCO<sub>3</sub>) ...**
- **L'apparition des vibrations a fissuré les maçonneries. Ces fissures, en assouplissant un peu plus le phare, ont installé celui-ci dans son nouveau comportement vibratoire. »**

Partant de ce constat, la réparation de l'ouvrage induisait de lui redonner de la rigidité.

C'est pourquoi, le service a analysé et étudié, avec le CETE, les solutions suivantes :

- ❑ **Le démontage et le remontage de l'ouvrage avec le remplacement des premiers rangs de pierre.** Ceci afin de retrouver le phare dans les conditions initiales.  
**Cette solution a été écartée.**
- ❑ **La réparation limitée de l'ouvrage par des injections de résine et un collage de tissus en fibres de carbone.** Cette option si elle permettait de rétablir l'intégrité locale des matériaux, ne modifiait pas le comportement dynamique de l'ouvrage. Les résultats n'auraient été probablement que provisoires et l'ouvrage aurait dû rester sous surveillance et instrumentation car l'adhérence des résines était problématique.  
**Solution écartée également.**
- ❑ **Le renforcement avec une coque en béton projeté sur la totalité de l'ouvrage afin de lui donner de la rigidité** (voir ci-après).  
**Solution retenue.**



Avec cette solution dite de base, **un marché travaux ouvert aux variantes** a été lancé en août 2012.

Après ouverture des offres, une deuxième solution est apparue et le service l'a analysée.

La solution variante de l'entreprise FREYSSINET consistait à :

- **Mettre en place de haut en bas de l'ouvrage des tirants scellés à la résine** (voir ci-après).





Après étude et recherche d'un financement complémentaire auprès de la DAM, la solution retenue a été celle proposée par FREYSSINET.

La note de calcul faisait apparaître un coefficient de raideur moindre que la solution de base mais il était suffisant par rapport à l'objectif initial.

Autre point, cette solution permettait de conserver l'esthétisme de l'ouvrage qui est inscrit au titre des monuments historiques depuis 2011 et donc d'avoir ainsi l'aval de l'Architecte des Bâtiments de France et du Conservateur Régional des Monuments Historiques de la DRAC Poitou-Charente.

A noter néanmoins que l'Architecte des Bâtiments de France avait donné son aval pour la solution de base.

Le phare de l'île d'Aix étant très médiatique, le public a été informé de l'avancé du dossier lors de deux réunions publiques.

#### **IV. Les travaux :**

Le chantier a été décomposé en trois phases.

➤ **Phase 1 : La dépose et la repose des antennes téléphoniques de l'opérateur SFR par celui-ci.**

Pour mémoire, le phare d'Aix est le seul ouvrage du département ayant des antennes d'un opérateur téléphonique ceci afin de desservir l'île. A l'hiver 2014, les antennes seront changées et tiendront compte de l'inscription au titre des monuments historiques de l'ouvrage. Elles seront reposées sur la tour porte écran et non porte feu. A ce jour, le permis de construire de SFR est toujours en cours d'instruction.

➤ **Phase II : La réfection du phare d'Aix :**

Les travaux ont commencé le 30 septembre 2013

Ils devaient prendre fin au 31 décembre 2013 (soit 12 semaines après le début des travaux) mais les aléas du chantier et surtout les intempéries ont entraîné un retard de 3 mois soit une fin de chantier à Mars 2014.

➤ **Phase III : La réfection de la peinture de la tourelle porte écran par la régie ainsi que la réfection de la maçonnerie aux pieds des tourelles.**

Ainsi :

a) L'amenée des matériels :

Les fourgons et les engins ont été amenés par le bac assurant la liaison avec le continent.

Les matériels ont été amenés par une barge.



*Arrivée de la barge sur Aix (en arrière plan le bac)*



*Dépose du matériel sur Aix*



*Engin utilisé pour le transport*

b) L'installation de chantier :

La base de vie était constituée d'une salle de réunion, de vestiaires (avec douches et sanitaires) et de chambres pour les ouvriers (afin d'éviter les allers-retours en bac).

Cette base a été établie dans des logements loués à proximité du chantier (200 m).

La base chantier était au pied du phare (voir sur les photos).

Deux casemates ont été utilisées comme des réserves pour les outils et les produits.

Le périmètre de sécurité qui était en place depuis 2009, a été utilisé dans cette phase chantier pour fermer totalement le site au public.

Des visites du chantier (élus, presse, autres) ont été accordées après validation du Chef de Subdivision. Le passage dans le périmètre impliquait automatiquement pour les visiteurs le port des EPI obligatoires.

*Périmètre de sécurité*



*Une des deux casemates utilisées*



*Base chantier*



*Accès à l'échafaudage*

c) Le montage de l'échafaudage :

Pour réaliser le chantier, un échafaudage de 21 m de haut a été monté. Ce dernier couvrait l'ouvrage et disposait à son sommet d'une sapine permettant d'assurer la dépose de la lanterne.

Avant usage, le bureau de contrôle APAVE a vérifié la totalité de l'installation.



*Montage échafaudage*



*Montage des premiers étages*





*Fin du montage de l'échafaudage*

*Plan 3D de montage de l'échafaudage*

*Mise en place de la sapine*



*Pont*



d) L'injection des fissures et le rejointoiement des maçonneries :

Les fissures et les joints de la maçonnerie du phare ont été cachetés (la surface couverte représentait une couronne de 5 m de haut en partant du pied du phare => zone souffrante des vibrations).

Le but de cette obturation provisoire était de permettre d'injecter et de contenir la résine jusqu'à sa prise.

Cette étape terminée, un décajetage puis un rejointoiement ont été opérés à l'intérieur et à l'extérieur avec un mortier à chaux.



*Mise en place des évents*



*Fissures et joints cachetés (1/2)*



*Fissures et joints cachetés (2/2)*



*Injection de la résine sous pression*



*Rejointoiement au mortier à chaux à l'extérieur*



*Rejointoiement au mortier à chaux à l'intérieur*

e) Dépose de la coupole :

La dépose a été faite par l'entreprise FREYSSINET et les agents de la subdivision Phares et Balises de La Rochelle.

Un avis au navigateur a été diffusé pour indiquer l'arrêt du phare pendant les travaux (arrêt du feu de secours).

La coupole a été déposée à terre ainsi que le système de rotation. L'ensemble a été ramené à la subdivision pour y être restauré : sablage, peinture et changement des filtres.

Le vide laissé en haut du phare a été comblé par une trappe qui a été réalisée par l'entreprise.

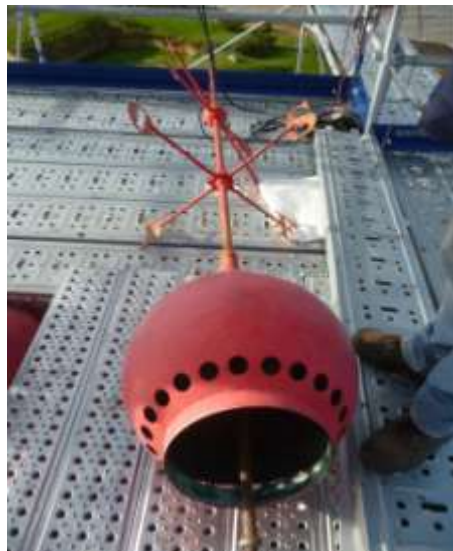
La consignation électrique de l'installation et la protection des câbles ont été réalisées par les Phares et Balises.

S'agissant d'une co-activité, un PPS spécifique a été réalisé pour ces tâches de dépose et de repose de la lanterne (avec l'optique).

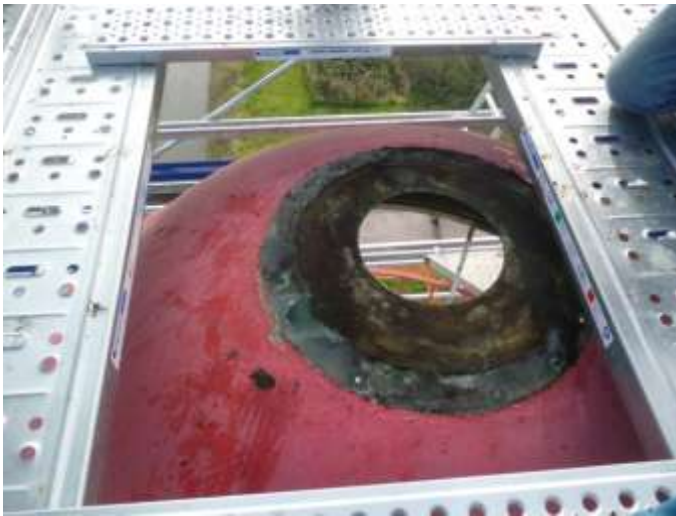


*Dépose de l'optique*

*Dépose de la Rose des Vents*







*Dépose de la coupole*



*Armatures libres de la  
lanterne*





*Descente et réception coupole*



*Tour sans lanterne*



*Lanterne démontée avant transport à la subdivision*

#### f) Implantation, carottages et mise en place des armatures :

Pour rigidifier l'ouvrage selon la note de calculs, la mise en place d'armatures au sein des maçonneries de l'ouvrage a impliqué qu'une majorité de ces dernières soient d'un seul tenant (c'est à dire, allant de haut en bas - dans les fondations - sans être coupées pour laisser libre les ouvertures). Le calepinage des 16 forages a donc pris en compte l'ouverture de la porte du phare, le passage des câbles, les fenêtres et les ancrages de la coupole.

De même, afin de respecter le fruit de l'ouvrage et les 15 cm souhaités par le service entre l'axe du forage et le bord extérieur du phare, un cordeau, en dehors de l'ouvrage, a été placé afin de caler la foreuse avec le bon angle.

Le forage s'est réalisé ensuite en utilisant un tube minier avec une tête en diamant.

Afin que l'ouvrage réagisse de façon homogène, il a été convenu que 8 carottages soient réalisés d'affilée et que les armatures et l'injection soient mise en œuvre à la suite.

Puis, les 8 autres ont été réalisées de la même manière.

Après passage des tirants, une résine époxy a été injectée par des événements.

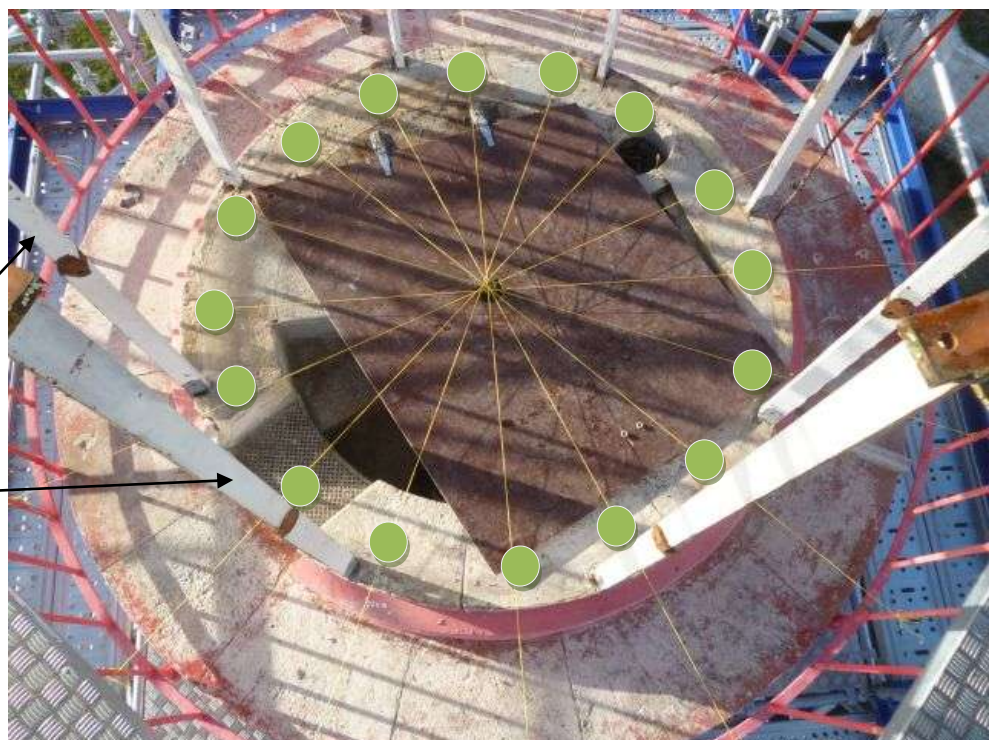
Les carottages étaient de 64 mm de diamètre. Les armatures étaient de 50 mm de diamètre. Il restait un delta de 14 mm soit 7 mm de vide autour des armatures.

Les tirants qui sont des armatures en inox goujonnées, descendent à plus d'1.5 m dans les fondations. Elles mesurent au total 15 m.

La résine est de type FOREVA Epx L971. Lors de son injection, la fluidité a été regardée pour être en adéquation avec la température atmosphérique. Au total, 1,2 tonnes de résine ont été injectées.

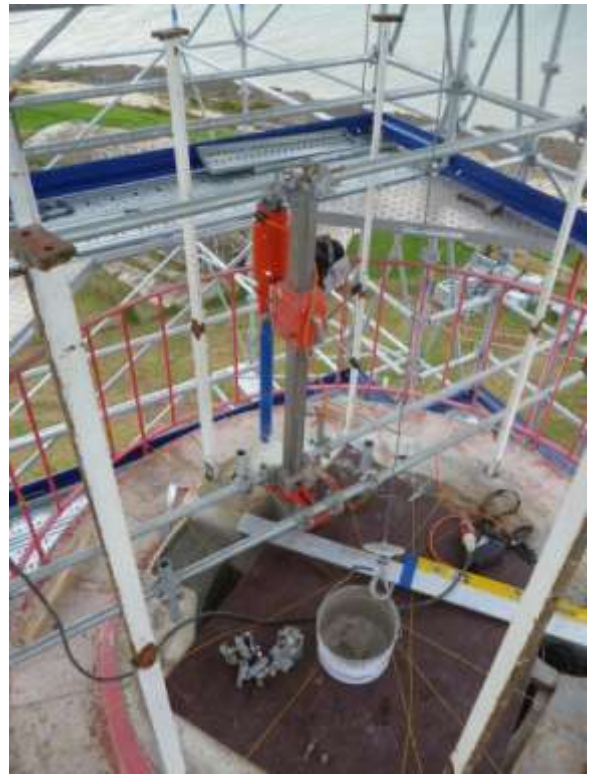
*Implantation des 16 carottages*

*Montants de la coupole conservés*





*Début carottage*



*Vue de l'installation*

*Carottage de diamètre 64*





*Tirant en inox goujonné*

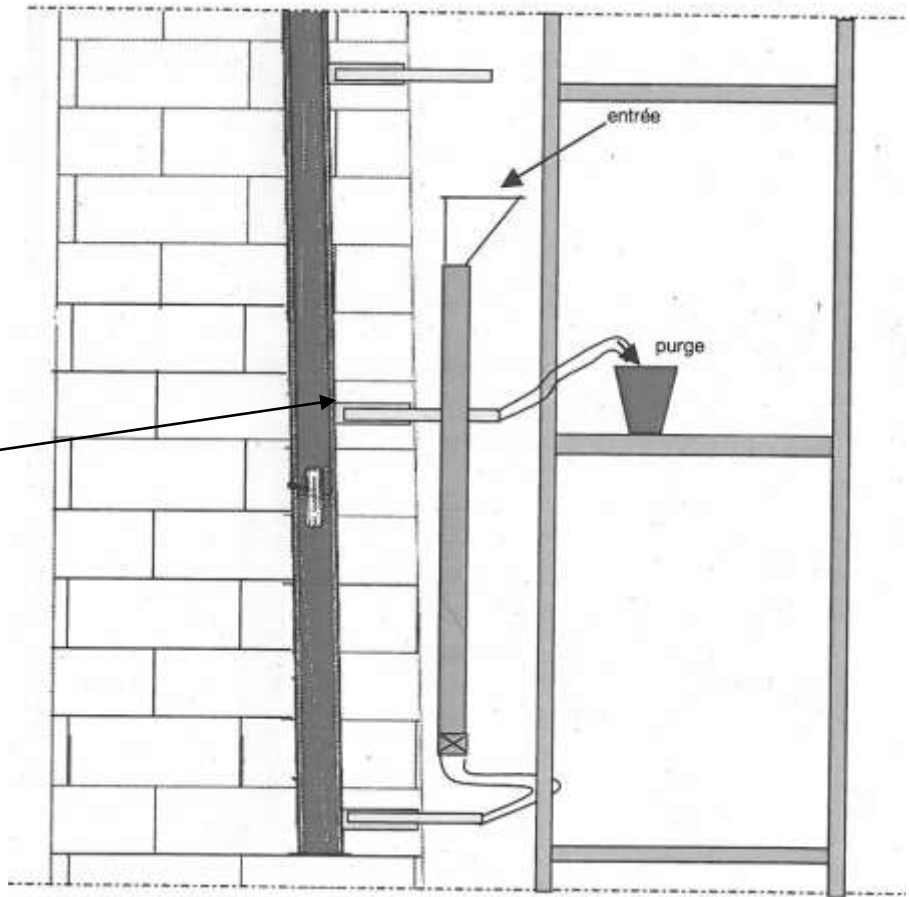
*Mise en œuvre du tirant*



*Vue du tirant à 15 cm du bord extérieur de l'ouvrage*

*Principe du scellement des tirants par gravité*

*Tirants avec goujon*



*Mise en œuvre du scellement*

### g) Suivi géométrique de l'ouvrage :

L'ouvrage a été suivi géométriquement durant tout le chantier avec la pose de 6 cibles sur le fût. Ainsi, un levé a été fait avant les travaux puis un après l'injection des fissures, un à mi-consolidation du fût (après mise en œuvre des 8 premiers tirants), un avant les injections de la fondation, un en cours des injections des fondations et un pour l'état final de l'ouvrage.

Durant toutes ces phases, l'ouvrage n'a pas bougé.

En complément, le CETE (CEREMA) a réalisé un contrôle dynamique de l'ouvrage par pose d'inclinomètres et d'accéléromètres afin de vérifier en temps réel les conséquences des travaux et comparer les données à celles relevées en 2009.



*Cible posée sur l'ouvrage*



*Une des 2 stations*

### h) Peinture et pose lanterne:

La tourelle en travaux a été poncée puis après préparation du support, la peinture a été appliquée par l'entreprise. La lanterne a été réposée et le filtre de la tour porte écran a été changé.



L'ancien feu a été remplacé par le feu tournant GFT 200 de GISMAN.



*Photo du feu issue de la  
plaquette de GISMAN*

#### i) Remise en service :

Le phare a été remis en service le 30 janvier 2014 lors d'une cérémonie en présence de M. le Maire d'Aix et les habitants de l'île.



*Remise en service*

#### j) Démontage et évacuation échafaudage – injection dans les fondations

Après dépose totale et évacuation vers le continent de l'échafaudage, des injections ont été réalisées au niveau des fondations.

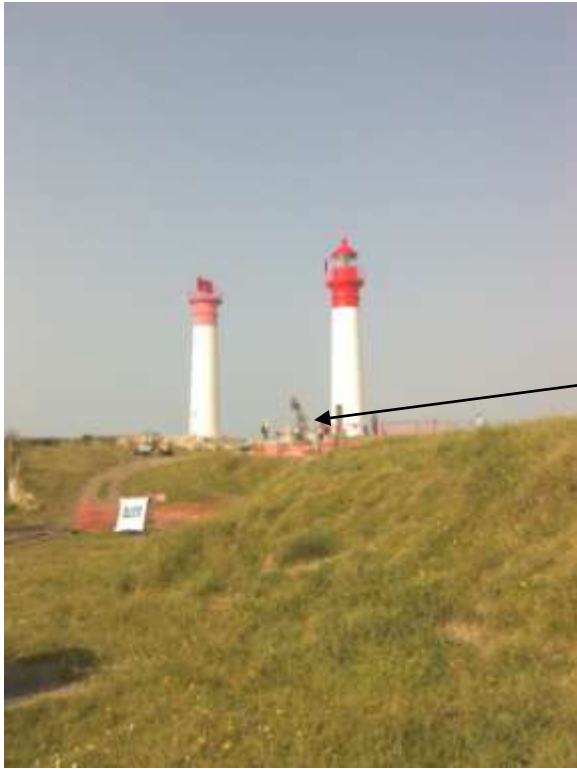
Après un essai de convenance permettant de déterminer le substratum à 5.8 m, il a été convenu de descendre à 7 m car le calcaire était de bonne qualité.

Au final, 4 forages avec injections réparties autour de l'ouvrage ont été réalisés jusqu'à cette profondeur et 4 autres ont été réalisés pour atteindre le massif juste en dessous de l'ouvrage



(inclinaison plus forte – profondeur = 5.4 m en moyenne) en faisant bien attention de ne pas toucher les armatures en inox implantées dans la structure et fichées dans le massif.

A noter que la technique de claquage (coulis d'injection composé de bentonite de ciment et d'eau - 30 litres d'injection tous les 33 cm) a été employée ce qui a permis de renforcer la fondation de l'ouvrage.



*Forage en cours*



*Mise en œuvre du coulis*

k) Remise en état des abords :

Le site a été remis en état. L'installation de chantier a été levée entièrement. Un nivellement des terres a été effectué ainsi qu'un engazonnement du site.



*Nivellement des accès et engazonnement*

m) Site après peinture par la régie de la tour porte écran – suivi dynamique après travaux :

La tour porte écran a été repeinte par la subdivision après la fin de la deuxième phase. Le périmètre de sécurité a été levé. L'ouvrage est néanmoins toujours suivi dynamiquement (en continu via GSM) par le CETE (CEREMA).

Nous attendons la fin de l'hiver 2014-2015 afin de confronter les résultats obtenus avec ceux de 2009. Nous déterminerons également le coefficient de raideur actuel afin de le comparer avec celui de la note de calculs.



## V. Le coût de l'opération :

Les principales dépenses ont été les suivantes sur la période de septembre 2009 à juin 2014:

Mise en sécurité du site et maintenance depuis septembre 2009 – réfection de la tour porte écran – réfection lanterne et porte écran	PB 17	NON CHIFFRE	
Multiples réunions...	PB 17	NON CHIFFRE	
Instrumentation, diagnostic des désordres constatés sur le phare, évaluation des possibilités de réparation	CETE SUD-OUEST	41 587,00 €	Titre IX
AVP de réparation et DCE	CETE SUD-OUEST	23 607,00 €	Titre IX
Suivi de Chantier et Analyse de la solution prise	CETE SUD-OUEST	13 425,00 €	Titre IX
Carottage de l'ouvrage et analyse de la pierre	FREYSSINET	3 928,86 €	
Achat d'un nouveau feu	GISMAN	5 645,00 €	
Loi sur l'eau	IDRA Environnement	6 697,60 €	
Publicité DCE	BOAMP et Moniteur	1 936,22 €	
Mission de coordination	APAVE	2 999,57 €	
Architecte (pour validation du permis de construire)	Cabinet SOURD	1 554,80 €	

Titre IX	78 619,00 €
BOP 205 sur les crédits de la subdivision	22 762,05 €

MONTANT DE L'OPERATION HORS TRAVAUX	101 381,05 €
-------------------------------------	--------------

Travaux programmés : Variante du DCE	FREYSSINET	263 885,76 €
Remise en état des maçonneries aux pieds des tourelles	NOURAUD	16 114,24 €

MONTANT DE L'OPERATION	381 381,05 €
------------------------	--------------