Diagnostic structurel du Bateau Porte de la forme 3

setec





Matinée technique STRRES-IMGC du 6 décembre 2017

Christophe CHANONIER (DIADES) et Benjamin TRINEL (LERM)

CCI MÉTROPOLITAINE BRETAGNE OUEST

Sommaire de la présentation

1- Présentation de l'ouvrage
2- Présentation du contexte
3- Présentation des interventions
4- Résultats des interventions réalisées
5- Résultats des essais en laboratoire
6- Suites à donner

setec tpi

setec diadès

setec lerm

1- Présentation de l’ouvrage







Type de structure	:	Bateau-porte en béton précontraint par post tension
Nombre d'éléments	:	- 1 radier - 4 parois verticales extérieures - 2 voiles verticaux longitudinaux - 15 voiles verticaux de refend transversaux - une Dalle de couverture en béton vient couvrir la bande centrale longitudinale - des poutres horizontales transversales préfabriquées relient les têtes de voiles longitudinaux entre elles
Nombre d'alvéoles (ou cellules)		3 séries longitudinales de 16 alvéoles
Géométrie	:	rectangulaire, 85,36ml longitudinalement, 17,35m de largeur transversale, et 18,15m de haut
Côte marine	:	le dessous est à la côté théorique de -8,15m CM
Type de béton	:	CPJ 45 PM (CPAL 325) de l'usine St Pierre-Lacour, dosé à 400 kg/m3, avec un E/C compris entre 0,42 et 0,47
Charge		granulats 0 – 22 mm avec des sables de mer lavés et des sables de dune
Plastifiant		Sika BV 40 dosé à 0,3% du poids de ciment
Résistances atteintes	:	régulièrement supérieures à 50 MPa à 28 jours.
Précontraintes	:	- dans les 3 directions de l'ouvrage - système STUP de chez FREYSSINET - câbles de type 6T13 et 12T13 - tubes rigides en acier de 2mm d'épaisseur - injection des gaines - câbles verticaux sont bouclés (en U)

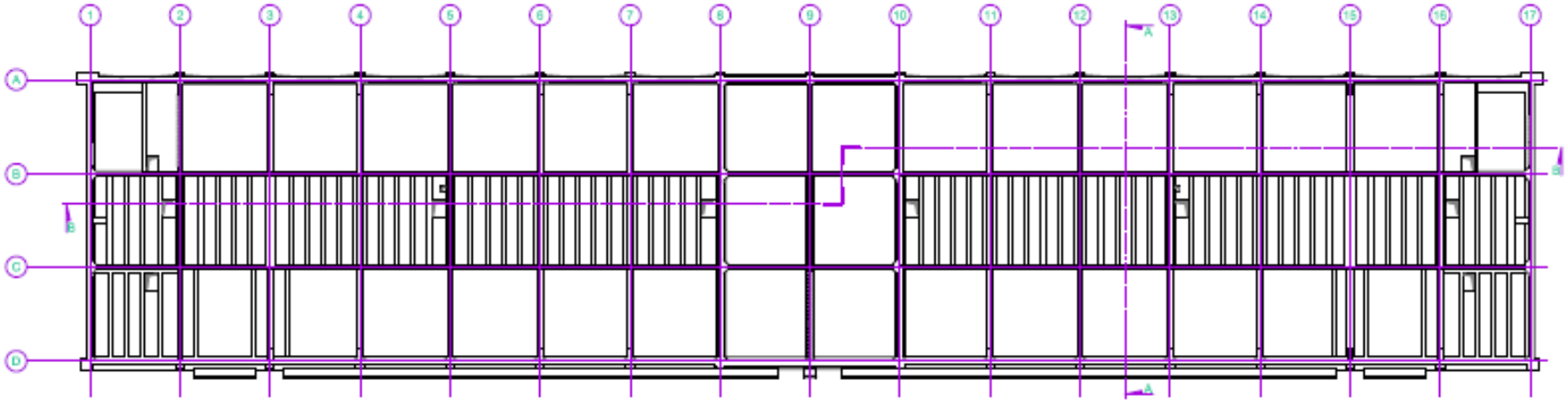


Schéma vue de dessus

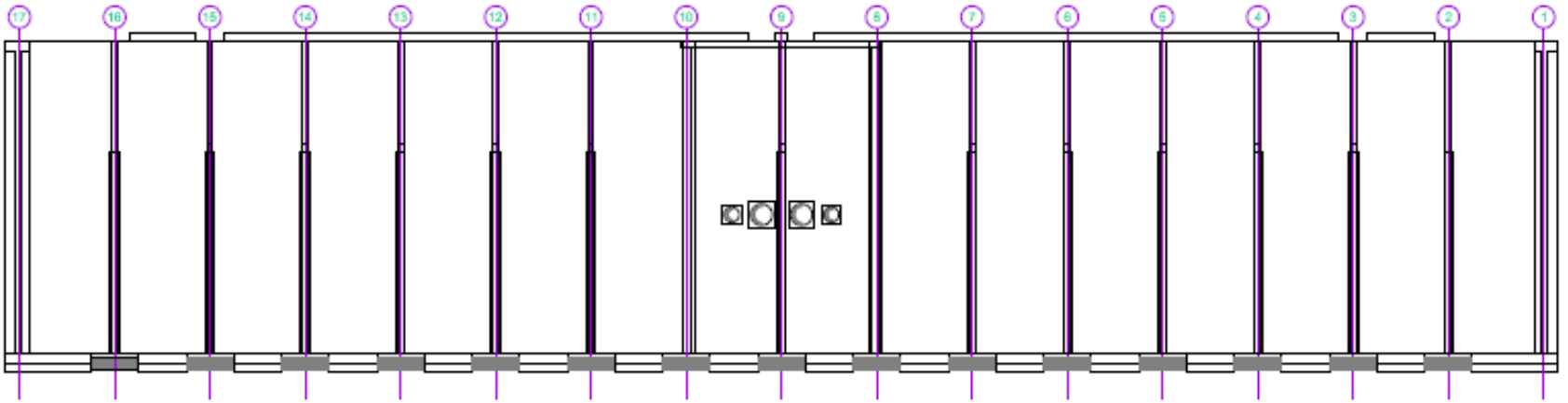


Schéma élévation côté forme

2- Présentation du contexte

Les principaux intervenants

Rôle	Intervenant
Maîtrise d'Ouvrage	CCI MÉTROPOLITAINE BRETAGNE OUEST
Assistance à Maitrise d'Ouvrage	apave / OUVRAGES
Diagnostic & Recalcul	SETEC TPI
Expertise Structure	SETEC DIADES
Expertise Matériaux	SETEC LERM

Historique du bateau porte

L'ouvrage est âgé de 35 ans environ. Il n'a reçu aucune intervention particulière d'entretien, ni de carénage, depuis sa mise en service.

La CCI envisage un premier carénage du bateau porte et souhaite profiter de cette immobilisation pour procéder aux travaux structurels nécessaires à l'entretien et à la pérennisation de l'ouvrage.

Pour ce faire, une **Inspection** et un **Diagnostic structurel** préalable de l'ouvrage sont nécessaires.

Les objectifs à atteindre par la mission d'Inspection et de Diagnostic sont donc doubles :

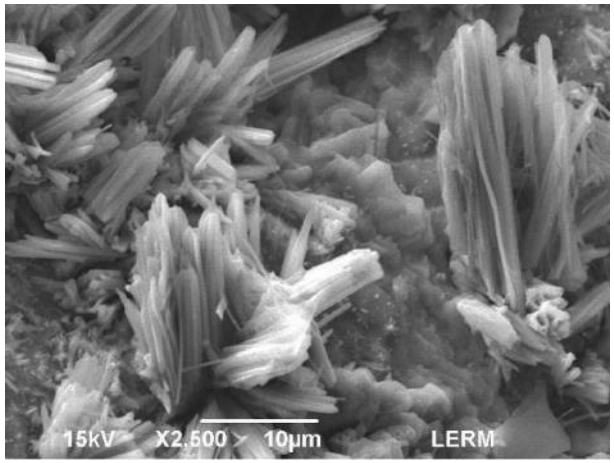
- établir de façon exhaustive l'état de conservation des structures en béton armé et en béton précontraint du bateau porte, ainsi que de ses pièces d'appuis ;

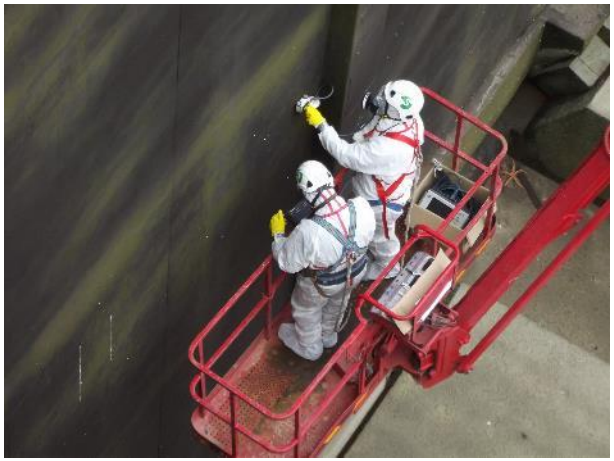
- déterminer de façon exhaustive les interventions, travaux d'entretien, et travaux de réparations nécessaires, pour garantir la solidité et la durabilité du bateau porte.

3- Présentation des interventions

Investigations sur site:

- Inspections visuelles
- Analyses comportementales lors de manœuvres
- Gammagraphie
- Mesures d'enrobages
- Tests de potentiel électrique des armatures
- Reconnaissances d'armatures de béton
- Reconnaissances des gaines et câbles de précontraintes
- Reconnaissances des ancrages de précontrainte
- Essais à l'arbalète
- Prélèvements par carottage





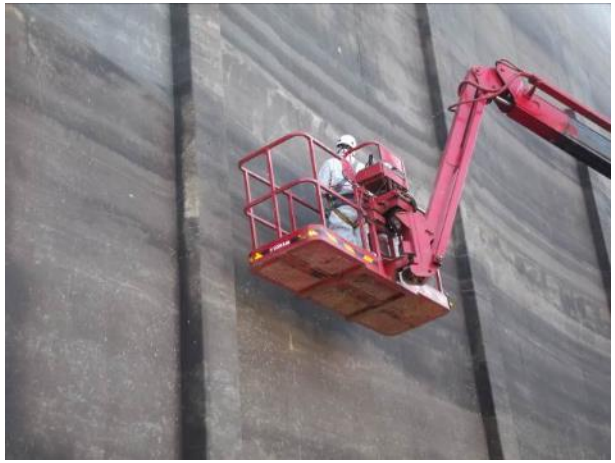
Essais en laboratoire:

- Profondeurs de carbonatation
- Profils de pénétration des chlorures
- Mesures de compression du béton
- Composition du béton
- Examens MEB
- Détermination du coefficient de diffusion des chlorures

Spécificités de l'étude

- Accès
- Bateau porte en place dans la forme
- Co-activité
- Présence d'amiante dans le revêtement



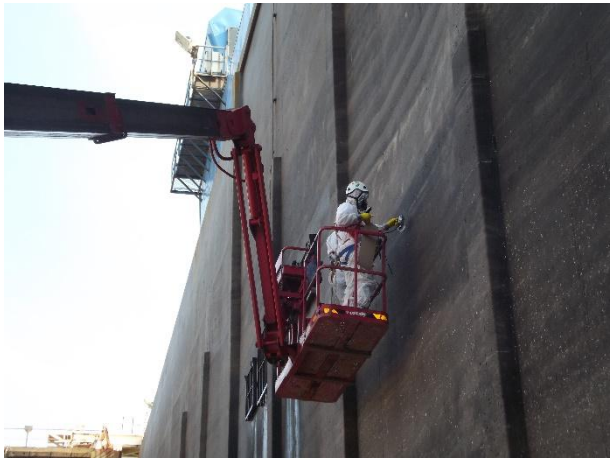






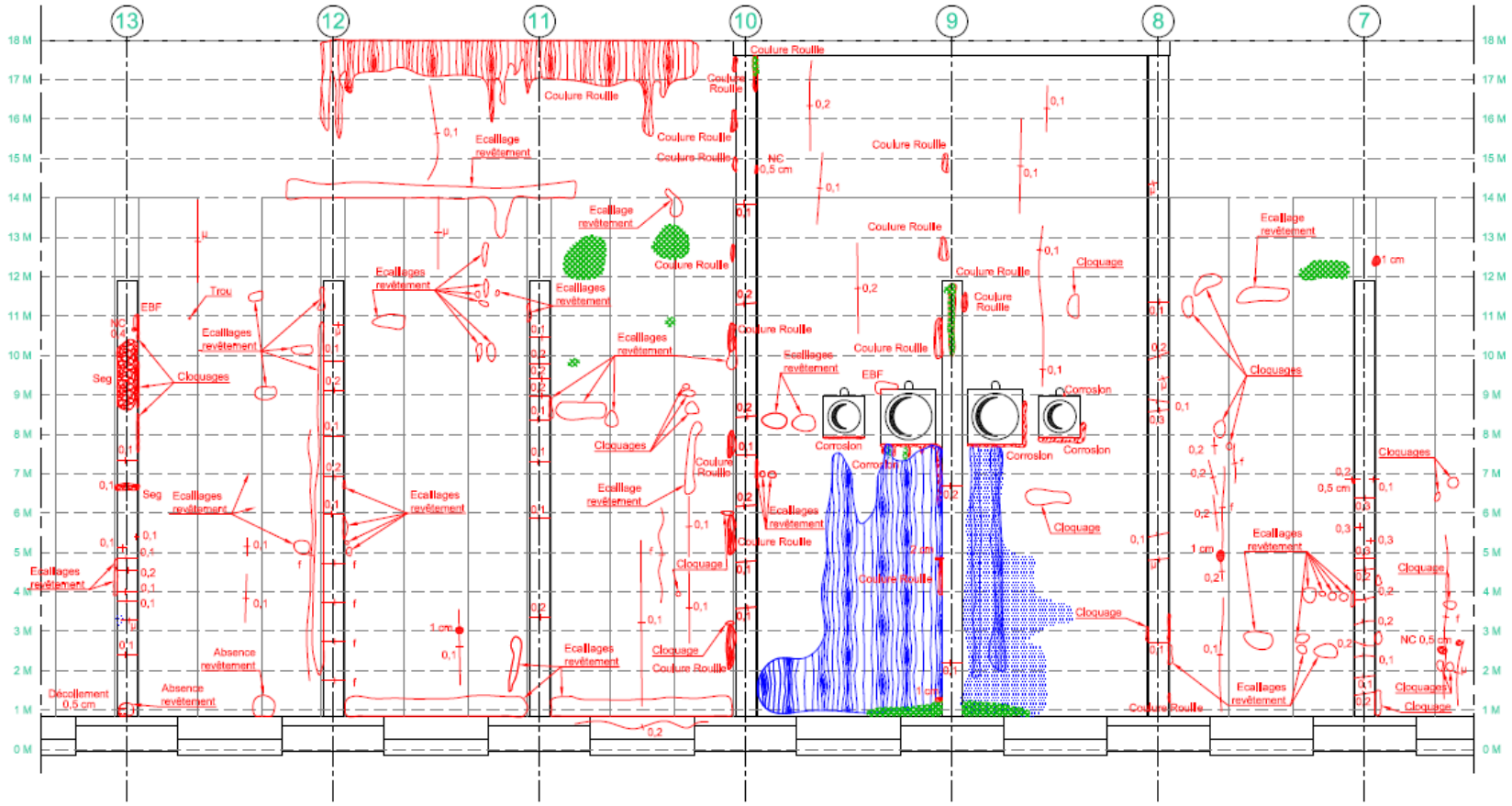
4 - Résultats des interventions réalisées







- Inspections visuelles

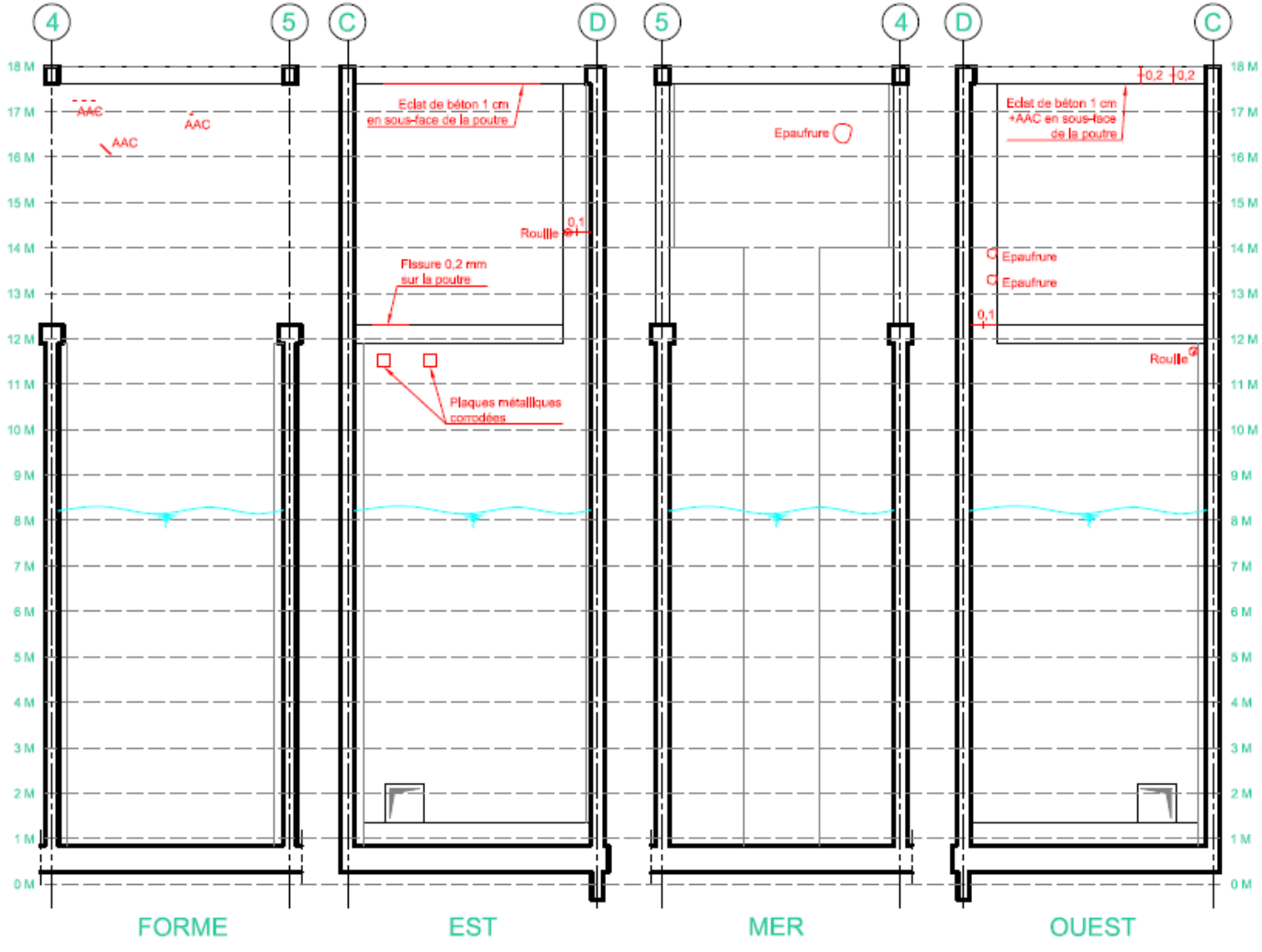


Nota : - Coulures de roullle en partie supérieure du mur sous le poste de garde;
- Présence de mousse en partie supérieure du mur sous le poste de garde.

Port de Brest	CCI BREST	diadès setec
	BATEAU PORTE RADOUB FR 3	
	PORT DE BREST	
	Cartographie des désordres	
	ELEVATION COTE FORME FILES 7 A 13	
Dessiné par : GUERRERO L.	Vérifié par : C.C.	Date : 11/04/2017

1cm = 1,0 m

- Inspections visuelles avec une anticipation de la phase 2 - corgaes

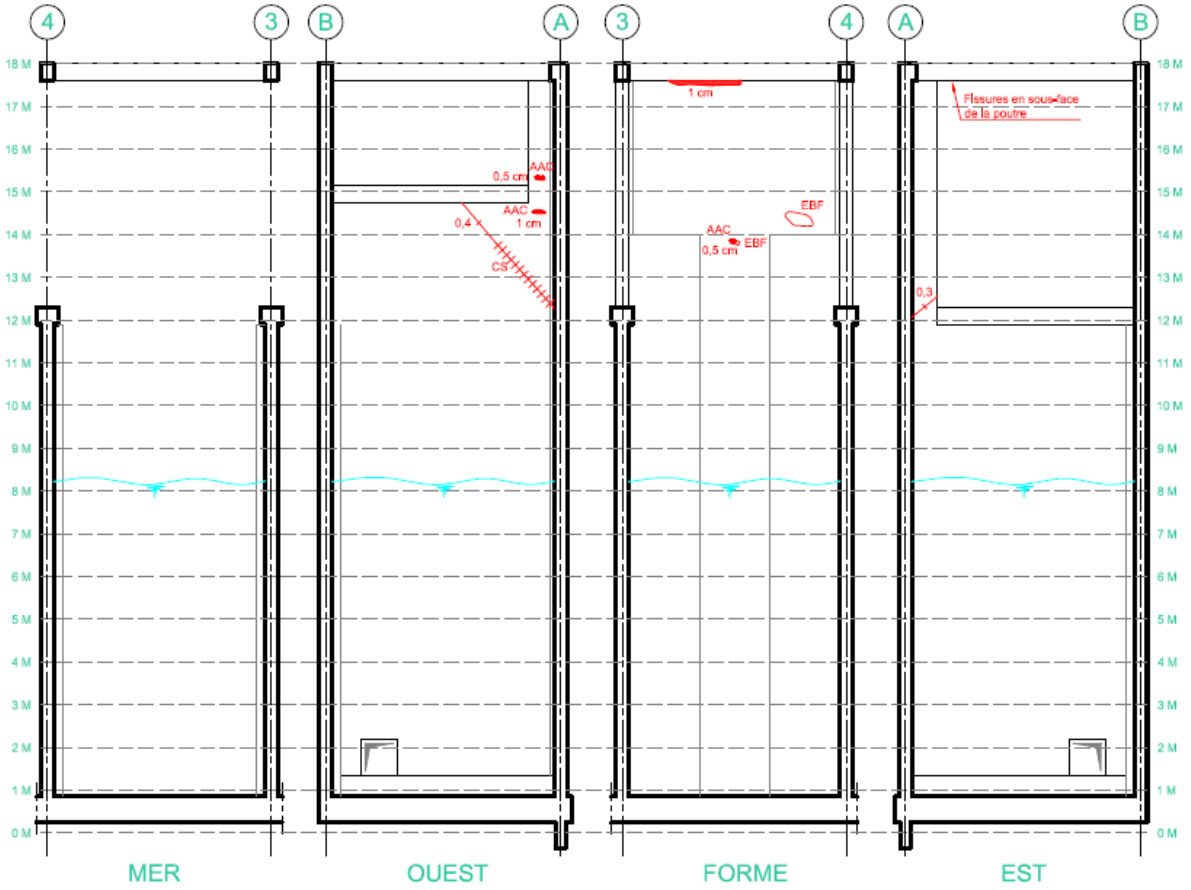


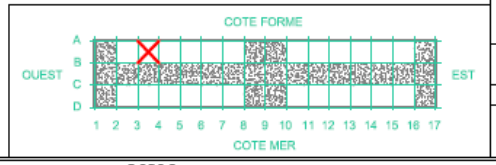
Nota: - Corrosion généralisée des fixations de l'échelle;
- Poutres fissurées transversalement aux jonctions entre les murs et les voiles.



	CCI BREST
	BATEAU PORTE RADOUB FR 3
	PORT DE BREST
	Cartographie des Désordres

- Inspections visuelles





Port de Brest	CCI BREST	diadès setec
	BATEAU PORTE RADOUB FR 3	
	PORT DE BREST	
Cartographie des Désordres **CELLULE COTE FORME N° 3**		
Dessiné par : GUERRERO L.	Vérifié par : C.C.	Date : 11/04/2017
027 N°société / 39556 N°affaire / D Ø / T Y	DIA Phase étude / INV Sous Phase	008 N°de Plan / 0 000 Indice

- Inspections visuelles



- Inspections visuelles







- Inspections visuelles

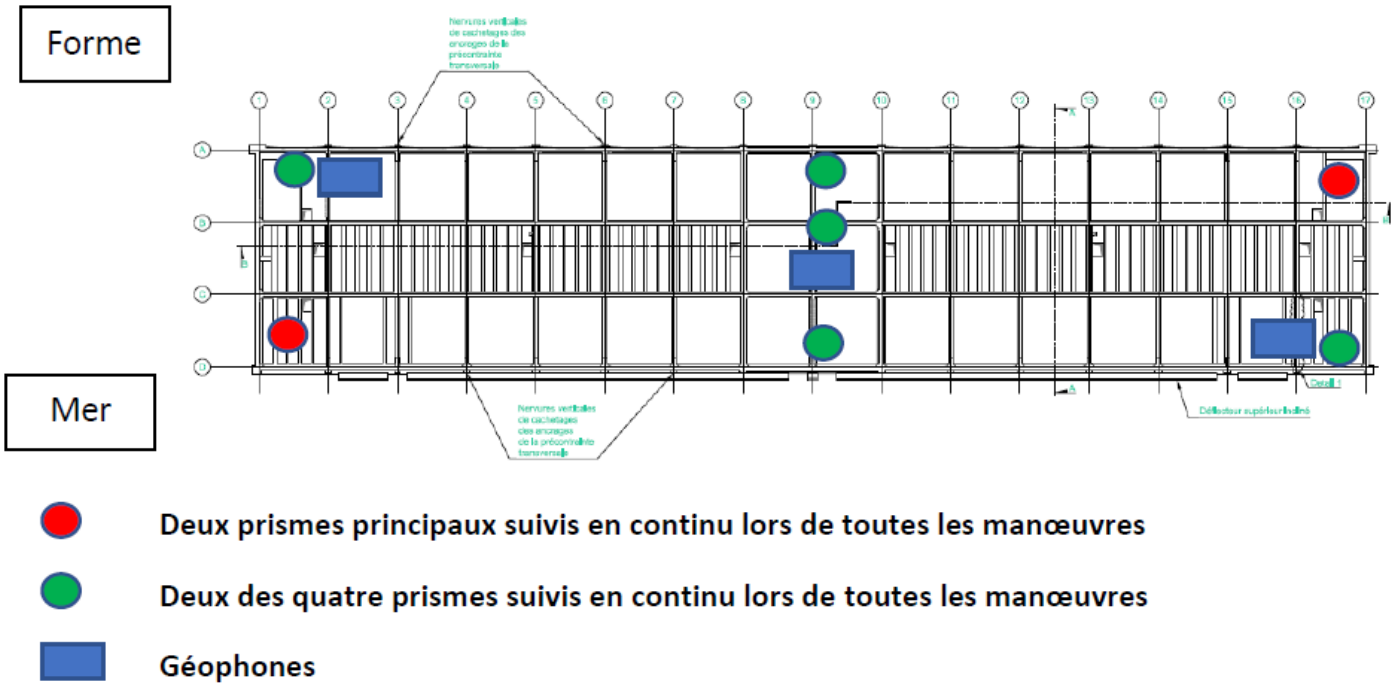


Sur 2 m²



- Analyse comportementale lors de manœuvres

Plusieurs manœuvres ont été suivies par tachéomètre précis et avec la mise en place d'accéléromètres sur le pont du bateau,



→ pas de phénomène de flexion ni de dérive observé par le suivi « topo »
= Répétabilité cohérente avec tous les déplacements rectilignes

- Analyse comportementale lors de manœuvres



Illustration d'une centrale d'acquisition



Illustration d'un capteur de vibration, de type géophone triaxiale



Illustration d'un boîtier de protection avant fermeture

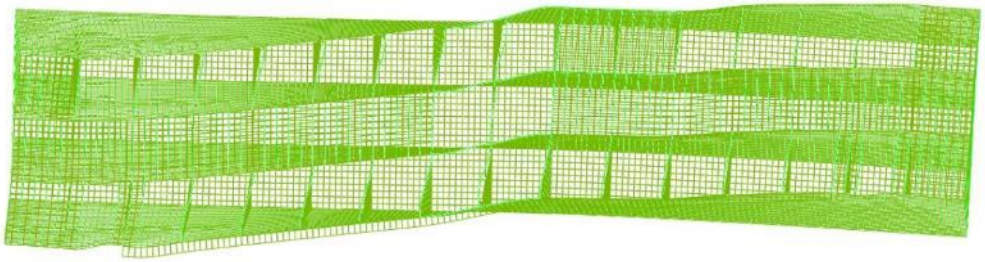


Illustration d'un boîtier de protection après fermeture

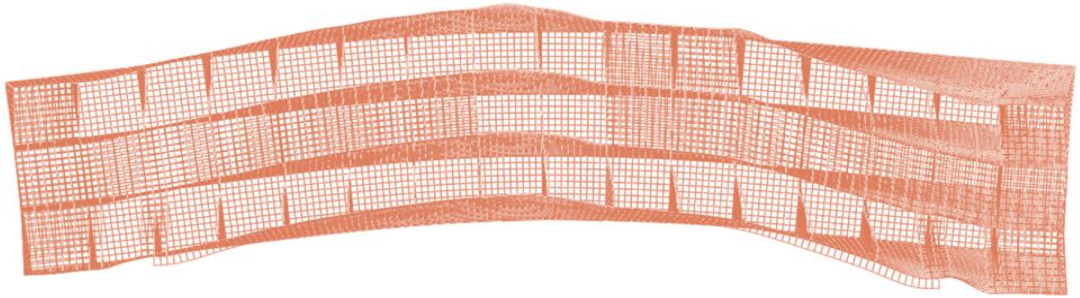
- Analyse comportementale lors de manœuvres
- Le monitoring révèle des modes autour de 4 hz

Or l'analyse modale sur le modèle aux Eléments finis donne les modes suivants

MODE	FREQ.	T	MASSE
53	3.797	0.263	0.068
54	3.996	0.25	2084.972
55	4.024	0.249	0.04
67	4.591	0.218	0.041
68	4.773	0.21	2031.536
69	4.914	0.203	0.02







Gammagraphie

Localisation des contrôles	Nombre de câbles différents contrôlés	A 	B 	C 	D 
Câbles verticaux des voiles longitudinaux	7	7			
Câbles verticaux des voiles transversaux	5	5			
Câbles longitudinaux	4	4			
Câbles transversaux	4	4			
Total général	**20**	**20**			
Total général en pourcentage		**100 %**	**0 %**	**0 %**	**0 %**
		100 %		**0 %**	

Sur le cliche n°6 on observe la présence d'un câble vertical incomplet. En effet on observe bien la présence de la gaine qui est bien injectée par le coulis mais les torons sont manquants pour la majeure partie d'entre eux.
Il est possible que l'ensemble des torons n'aient pu être insérés dans le conduit a la construction suite a l'obstruction de ce conduit.

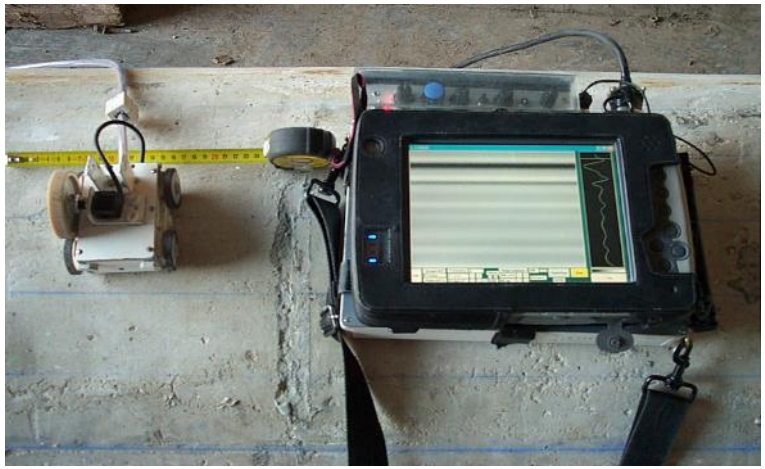
Reconnaissance des ancrages de précontrainte

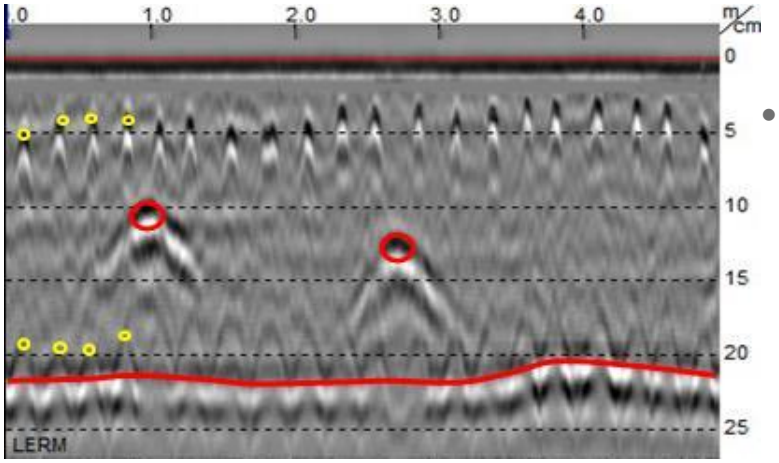


présence d'humidité au niveau des ancrages



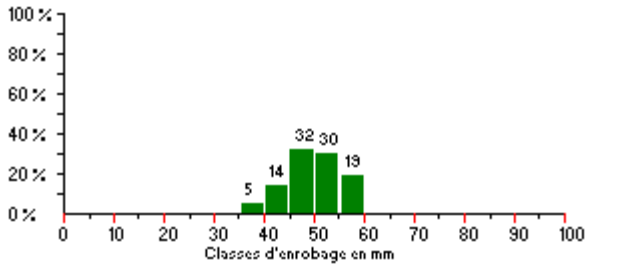
Mesures d'enrobages par auscultation radar





Résultats:

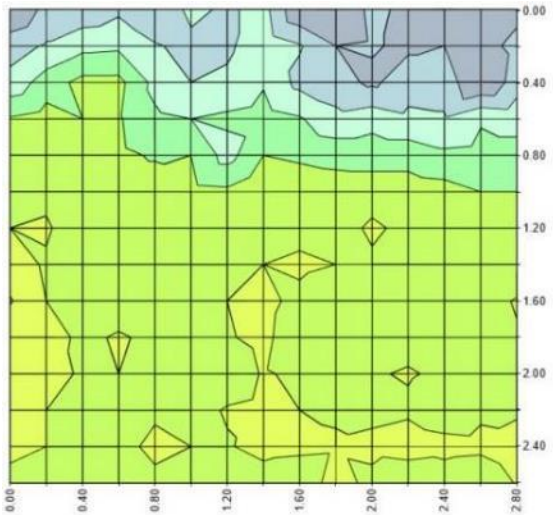
- généralement > 30 mm
- plus importants sur face côté forme du voile extérieur A
- sur la face côté caisson du voile extérieur D (situé côté mer), 51 % des premières armatures présentent un enrobage < 50 mm
- sur les faces côté caisson des voiles intérieurs B et C, 70 % des premières armatures présentent un enrobage < 50 mm
- plus faibles sur les voiles transversaux. Pus de 80 % des premières armatures < 50 mm



BREST__029 Nombre total de mesures = 37 LERM

Mesures de potentiel de corrosion





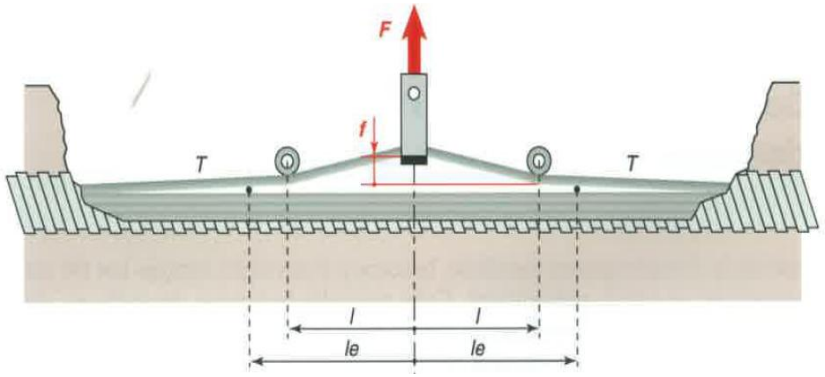
Résultats :

- potentiels très électronégatifs sur la face côté caisson du voile extérieur D (situé côté mer)
- absence d'activité de corrosion sur les voiles intérieurs des caissons
- sur les 9 ouvertures réalisées, aucun signe de corrosion des aciers passifs n'est observé

Mesures des tensions résiduelles par essais à l'arbalète





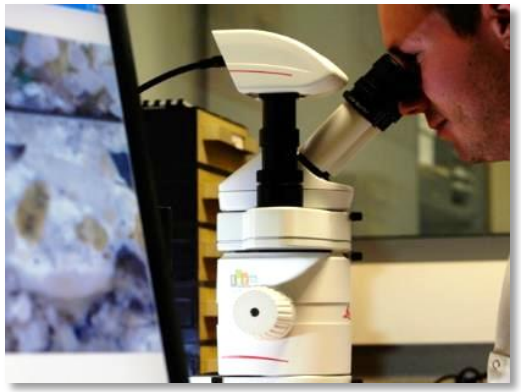


Essais à l'arbalète - Résultats

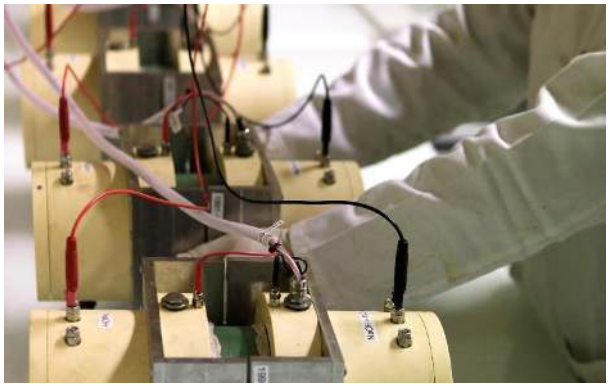
Réf.	Localisation	Type de câble	Contrainte résiduelle moyenne (MPa)
F1	**câble horizontal**	**12T13**	1304
F2	**câble horizontal**	**12T13**	
F3	**câble vertical en U**	**12T13**	**807**

- sur les 3 fenêtres réalisées, aucun signe de corrosion intérieure, ni aucun défaut de remplissage de coulis ne sont observés
- la perte moyenne sur les câbles horizontaux testés serait de l'ordre de 8,5 % sur la valeur moyenne, ce qui est cohérent dans la mesure où ces câbles sont peu déviés
- dans le cas du câble en U testé à proximité d'un ancrage (avant déviation), la perte est de l'ordre de 43 % ce qui est anormalement élevé si l'on considère que ces câbles ont été tendus aux deux extrémités

5 - Résultats des essais en laboratoire







setec
lerm

Profondeurs de carbonatation, résistances en compression et compacité



Profondeurs de carbonatation :

- très faibles, voire nulles
- loin d'atteindre les épaisseurs d'enrobage des premières armatures (qui est généralement supérieure à 30 mm)
- pas de risque de corrosion des armatures par carbonatation du béton



Résistance à la compression moyenne corrigée

- voisine ou supérieure à 60 MPa. Une valeur mesurée au niveau du voile A côté forme présente une valeur de 44 MPa



Compacité

- apparaît correcte. Les porosités accessibles à l'eau mesurées sont voisines de 14 %

Teneurs en chlorures - Résultats

Voile côté forme (revêtu): migration des Cl variable:

- Faibles teneurs en partie haute et sous un écoulement au niveau des conduits de remplissage
- Gradients de concentration sur une zone centrale de marnage et sur une zone basse de marnage

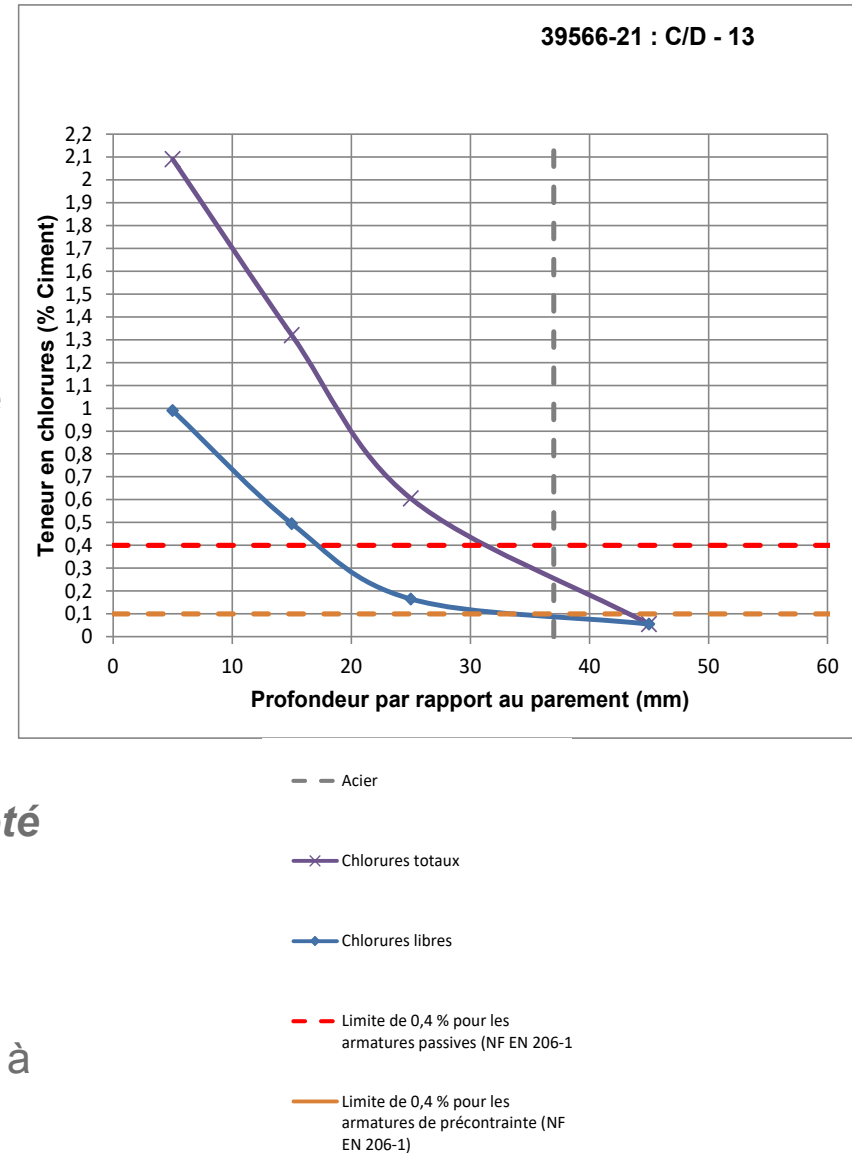
Voiles transversaux (non revêtus) :

- Présence de gradients
- Elevées sur les premières franges, cependant inférieures à 0,4 % au niveau des premiers aciers passifs

Voiles intermédiaires et voile extérieur situé côté mer (non revêtus) :

- Gradients moins importants, valeurs toutes inférieures à la limite des 0,4 %

Les rapports Cl-/OH- sont généralement inférieurs à la valeur de 0,6



setec
lerm

Composition, coefficient de diffusion des chlorures et MEB



Coefficient de diffusion des chlorures

- entre 3,8 et 7,1 x 10^{-12} $m^2.s^{-1}$. Indicatives d'une durabilité potentielle moyenne à élevée (guide AFGC)

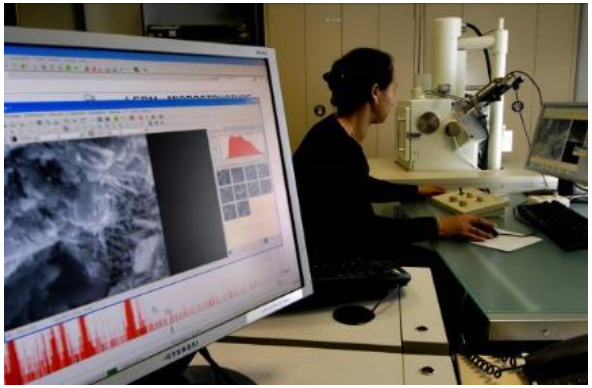


Composition *:*

- ciment CEM II/A ou B-S (ciment composé au laitier de haut fourneau). Estimations voisines de 450 ± 50 kg/m^3. A titre indicatif, la norme EN 206-1 impose un dosage en ciment minimum de 340 kg/m^3 pour la classe d'exposition XS3. Le dosage théorique est, quant à lui, de 400 kg/m^3

Examens MEB

- absence d'espèce minérale expansive ou produit délétère à cœur des échantillons de béton



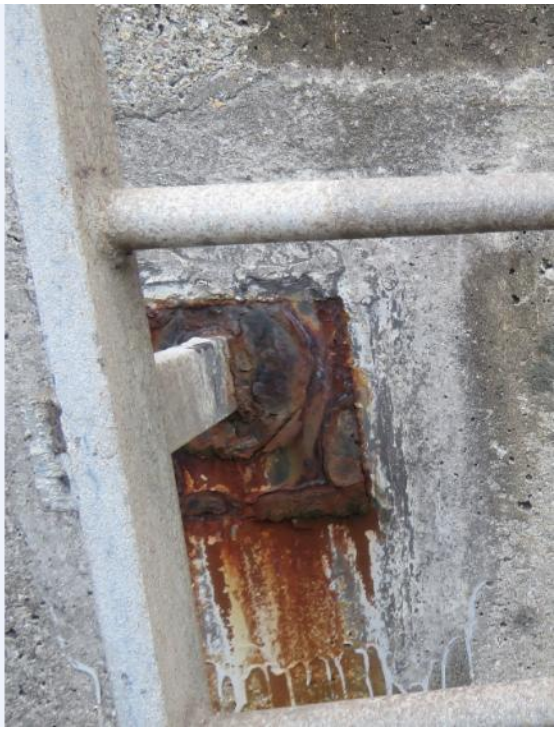
6 – suites à donner

- Préconisations de travaux

✓ Traitement des azobés et lignes d'appui

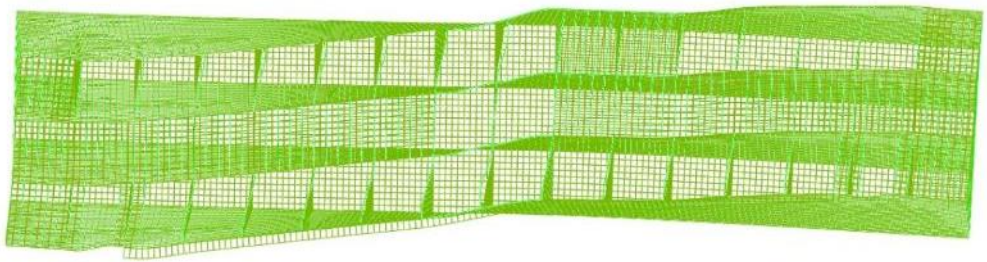
✓ Remplacement équipements de sécurité / accès

✓ Traitement du revêtement présent (**amianté**)



- Fiabilisation du Diagnostic structurel :

Recalcul exhaustif de la structure aux éléments finis (Utilisation du logiciel Pythagore®)



Merci pour votre attention



Contacts

Setec tpi
Immeuble Central Seine
42 - 52 quai de la Rapée - CS 71230
75583 PARIS CEDEX 12
Tél +33 1 82 51 68 00
Fax +33 1 82 51 41 82
www.setec.fr

tancrede.de-folleville@tpi.setec.fr

Diades
ZAC Le Griffon - 7 chemin des Gorges de Cabriès -
13127 VITROLLES
Tél : 04 27 85 49 80 –
Fax : 04 27 85 49 81
diades.aix@diades.fr

christophe.chanonier@diades.setec.fr

Lerm Agence de Rennes
4, avenue Charles Tillon
35000 RENNES
Tél +33 6 87 71 40 21
www.lerm.fr

benjamin.trinel@lerm.setec.fr