Service d'Infrastructure de la Défense Atlantique

Ministère des Armées (MINARM)
Secrétariat Général pour l'Administration (SGA)
Direction Centrale du Service d'Infrastructure de la Défense (DCSID)

IDENTIFICATION DE L'OUVRAGE

Désignation :

Château d'eau Morillot

Identification :

N° G2D : 290019515T0023

Situation :

Localisation : Arsenal de Brest (29)
Type d'ouvrage : Château d'eau / Réservoir d'eau
Date de construction : Non-communiqué
Occupation : Réseau d'eau potable



DESCRIPTION DE L'INSPECTION

Type d'inspection :	**Date de réalisation :**	**Commande :**
Inspection Approfondie – IA : Inspection Visuelle + Diagnostic	Du 23/03/2026 au 26/03/2026	*N° Ordre de Service :* / *N° Bon de Commande : 18*

IDENTIFICATION DU RAPPORT :

2026 – CR – IPA – 290019515T0023 – Château d'eau Morillot

Référence :	**Indice :**	**Date de rédaction :**	**Note générale de l'ouvrage :**	**Indice d'Etat Mécanique 2026 :**	**Indice d'Etat d'Usage 2026 :**
ORE3.O.3001-12	Indice B	03/08/2026	IE = 3	IEm = 3	IEu = 2
Type de version : ~~Etude~~ / Provisoire / ~~Validée~~					

SYNTHESE DES CONCLUSIONS DU RAPPORT

Le Château d'eau Morillot (N°G2D : 290019515T0023) situé sur le site de la Base Navale de Brest (29) **ne présente pas de désordres structurels remettant en cause sa stabilité à court terme.** Cependant, la présence d'une fissure traversante au niveau du fût pourrait être due à des mouvement structurels non stabilisés ou des surcharges. Ces défauts pourraient constituer à moyen terme, une insuffisance structurelle et remettre en cause la stabilité de l'ouvrage. **L'Indice d'Etat Mécanique de l'ouvrage est IEm 3**, il est principalement justifié par le désordre de type fissure traversante**. L'Indice d'Etat d'Usage de l'ouvrage est IEu 2** dû aux désordres mineurs, mais nécessitant un entretien spécialisé afin de garantir la pérennité de l'ouvrage.

Le Diagnostic Pathologique orienté corrosion des armatures et pollution des bétons à mis en évidence l'absence de corrosion au niveau de l'ouvrage.

IDENTIFICATION DU TITULAIRE

Ginger CEBTP – Agence de RENNES
Service Diagnostic, Pathologie des matériaux et Structure
ZA la Bourdonnais
2 Rue de l'Eglantier
35520 La Mézière
Tél : +33 (0)2 99 27 51 10
cebtp.rennes@groupeginger.com

SERVICE D'INFRASTRUCTURE DE LA DEFENSE ATLANTIQUE

LOT N°1 : BASE DE DEFENSE BREST-LORIENT – INSPECTIONS APPROFONDIES DE BÂTIMENTS ET D'OUVRAGES DE GENIE CIVIL

CHATEAU D'EAU MORILLOT – BASE NAVALE DE BREST (29)

INSPECTION APPROFONDIE – IA : INSPECTION VISUELLE ET DIAGNOSTIC

A la demande et pour le compte du :	**Ministère des Armées (MINARM)** Secrétariat Général pour l'Administration (SGA) Direction Centrale du Service d'Infrastructure de la Défense (CDSID) Service d'Infrastructure de la Défense Atlantique (SID Atlantique) **A l'attention de M. KERMARREC Gilles** CC16 29240 BREST CEDEX 9

N° Marché : 2024 BSTSAI 6645 **N° Ordre de Service :** / **N° Bon de Commande :** 18	**Référence Rapport :** ORE3.O.3001-12 **Indice Rapport :** Indice B

Rédigé par :	L'Ingénieur Chargé d'Affaires : **Guillaume LEMARCHAND** Mail : g.lemarchand@groupeginger.com Tél : 02 99 27 51 10	
Validé par :	Le Chef de Service : **Antony LETERRIER** Mail : a.leterrier@groupeginger.com Tél : 02 99 27 51 10	

Ce rapport comprend 50 pages de texte et 6 annexes

Version	Date de diffusion	Modification
Indice A	16/07/2026	Edition de la version étude comprenant uniquement la partie Inspection Visuelle
Indice B	03/08/2026	Edition de la version provisoire

Ce rapport devient la propriété du Client après paiement intégral du prix de la mission, son utilisation étant interdite jusqu'à ce paiement. A compter du paiement intégral du prix, le Client devient libre d'utiliser le Rapport et de le diffuser, à conditions de respecter et de faire respecter les limites d'utilisation des résultats qui figurent au rapport, et notamment les conditions de validité.

SOMMAIRE

1 INTRODUCTION 5
2 OBJECTIFS DE LA MISSION 5
3 DOCUMENTS REMIS POUR LA MISSION 6
4 DONNEES GENERALES 6
4.1 Identification de l'ouvrage 6
4.2 Caractéristiques de l'ouvrage 7
4.3 Vie de l'ouvrage 7
4.3.1 Construction de l'ouvrage 7
4.3.2 Actions de surveillance 7
4.3.3 Travaux d'entretien et de réparation 7
4.3.4 Investigations complémentaires 7
4.4 Conditions de l'intervention 8
5 CODIFICATIONS UTILISEES 9
5.1 Codification des désordres 9
5.2 Codification des préconisations d'entretien, de travaux et de surveillance 10
6 TABLEAU DE SYNTHESE DES DESORDRES VISIBLES RELEVES OU DETECTES 11
6.1 Abords et zones d'influence 11
6.1.1 Indice d'état d'usage (IE_U) 2026 11
6.1.2 Indice d'Etat d'Usage (IE_u) 2026 11
6.1.3 Indice d'Etat Mécanique (IE_M) 2026 11
6.2 Equipements 11
6.2.1 Indice d'Etat d'Usage (IE_U) 2026 11
6.2.2 Indice d'Etat Mécanique (IE_M) 2026 12
6.3 Structures porteuses 13
6.3.1 Indice d'Etat d'Usage (IE_u) 2026 13
6.3.2 Indice d'Etat Mécanique (IE_m) 2026 15
7 RECAPITULATIF DES DESORDRES VISIBLES RELEVES OU DETECTES ET CODIFICATION ASSOCIEE 16
7.1 Indice d'Etat Mécanique (IE_m) 2026 16
7.2 Indice d'Etat d'Usage (IE_u) 2026 18
8 PRECONISATIONS D'ENTRETIEN, DE TRAVAUX ET DE SURVEILLANCE 20
8.1 Equipements 20
8.2 Structures porteuses 21
9 RESULTATS DU DIAGNOSTIC PATHOLOGIQUE ORIENTE CORROSION DES ARMATURES ET POLLUTION DES BETONS 23
9.1 Description des investigations *in-situ* 23
Zone de diagnostic n°1 : Zone visuellement altérée – Parement extérieur du fut 24
9.2 Zone de diagnostic n°2 : Zone visuellement saine – Parement extérieur de la cuve 26
9.3 Zone de diagnostic n°3 : Zone visuellement altérée – Parement interieur en tete de fut 28
10 ESSAIS ET ANALYSES EN LABORATOIRE 30
10.1 Résultats des essais mécaniques a la compression simple du béton 35
10.2 interpretation des résultats des essais mécaniques à la compression simple du béton 36
10.3 Dosages en ions sulfates 38
10.4 Mesures de la Masse volumique apparente et porosité accessible à l'eau 39
11 ESSAIS D'ARRACHEMENT DE MESURE DE L'ADHERENCE DU REVETEMENT ET DE LA COHESION SUPERFICIELLE DU MATERIAU SUPPORT (BETON) 40
11.1 Principe de l'essai 40
11.2 Résultats des essais 40
11.2.1 Mesure de l'adhérence du revêtement d'étanchéité 40
11.2.2 Mesure de la cohésion superficielle du béton 41
12 SYNTHESE DES RESULTATS DU DIAGNOSTIC PATHOLOGIQUE ORIENTE CORROSION DES ARMATURES ET POLLUTION DES BETONS 42
12.1 Diagnostic de l'etat electrochimique des armatures 42
12.2 Dosages en ions sulfates 44
13 AVIS SUR L'ETAT GENERAL DE L'OUVRAGE 45
14 ORIENTATIONS TECHNIQUES DE TRAVAUX DE REHABILITATION / REPARATION / REGENERATION ADAPTES AUX DESORDRES ET A LEURS ORIGINES PROBABLES AU STADE « DIAGNOSTIC » 46

14.1 Préconisations d'investigations complementaires 46
14.2 Orientations techniques de travaux de rehabilitation / reparation / regeneration : Stratégie de réparation dite « classique » 46

15 CONCLUSION 50
15.1 Inspection Visuelle 50
15.2 Diagnostic pathologique oriente corrosion des armatures et pollution des beton 50

ANNEXES

ANNEXE 1 : PLANS DE LOCALISATION DES DESORDRES
ANNEXE 2 : REPORTAGE PHOTOGRAPHIQUE
ANNEXE 3 : IMPLANTATION DES INVESTIGATIONS
ANNEXE 4 : TRAITEMENT STATISTIQUE DES MESURES DE DETECTION DES ARMATURES
ANNEXE 5 : RAPPORT DU LABORATOIRE DE CHIMIE MICROSTRUCTURE
ANNEXE 6 : PLANCHE PHOTOGRAPHIQUE DES ESSAIS D'ARRACHEMENT

1 INTRODUCTION

Dans le cadre du marché N° **2024 BSTSAI 6645**, Ginger CEBTP – Agence de Rennes a été missionnée pour réaliser une Inspection Approfondie (IA) de type **Inspection Visuelle et Diagnostic de l'ensemble du Château d'eau Morillot** (N° G2D : 29001951T0023), situé sur la Base Navale de Brest (29), par Bon de Commande N°18 en date du 17/06/2025.

2 OBJECTIFS DE LA MISSION

Les investigations ont porté sur la totalité du Château d'eau Morillot. L'ouvrage est de type « cuve conique », d'une hauteur totale de 40 m environ.

Les objectifs de la mission sont les suivants :

- Relevé des principaux désordres visibles sur l'ensemble de l'ouvrage,
- Réalisation d'un Diagnostic Pathologique orienté corrosion des armatures du béton armé et pollution des bétons, pour cela, il a été réalisé :
  - Détection des armatures par méthode non-destructive,
  - Sondages destructifs par burinage (3 unités au total),
  - Mesures électrochimiques du potentiel de détection des armatures (3 unités au total),
  - Mesure du front de carbonatation de la pâte de ciment du béton (3 unités au total),
  - Prélèvements d'échantillons de béton par carottage (14 unités au total),
  - Détermination de la pénétration des ions chlorures libres et totaux (6 unités au total),
  - Détermination de la pénétration des ions sulfates (6 unités au total),
  - Détermination de la masse volumique apparente et de la porosité accessible à l'eau des bétons (2 unités au total),
  - Détermination de la résistance à la compression du béton du fut de l'ouvrage (10 unités),
  - Détermination de l'adhérence du revêtement au sein de la cuve de l'ouvrage (5 unités),
  - Détermination de la cohésion du béton support de la cuve de l'ouvrage (5 unités).
- Des orientations techniques de travaux de réhabilitation / réparation / régénération adaptés aux désordres et à leurs origines probables au stade « Diagnostic ».

La mission confiée est une mission d'investigation de type M13, M14 et M21 selon le Référentiel de l'Ingénierie de la Maintenance de l'IMGC.

3 DOCUMENTS REMIS POUR LA MISSION

Dans le cadre de cette mission, les documents suivants nous ont été transmis :

Désignation	Format	Auteur	Date
CHATEAU D'EAU CSP ROLAND MORILLOT	PDF	Marine Nationale	02/04/2001
290019515T_0023_N_00_ATL_Feuille_sans_titre	PDF	ESID Brest	24/04/2001
MORILLOT Coupe AA	PDF	/	10/09/2015
DICT.fr-Declaration-PdfComplet_2026030401101D	PDF	Ginger CEBTP	04/03/2026
16-2026_PdP_GINGER_Chateau eau Morillot	PDF	SID Atlantique	17/03/2026
290019515T_0023_ADC_PLM_20260316	PDF	AEDgroupe	20/03/2026
290019515T_0023_AMT_RAT_20260316	PDF	AEDgroupe	20/03/2026

4 DONNEES GENERALES

4.1 IDENTIFICATION DE L'OUVRAGE

Nom de l'ouvrage	:	Château d'eau Morillot
N° G2D	:	290019515T0023
N° G2D - Composant	:	0023
Nature / Type de l'ouvrage	:	Château d'eau
Usage de l'ouvrage	:	Réseau d'eau potable
Situation de l'ouvrage	:	Brest (29)
N° Ordre de Service	:	/
N° Bon de Commande	:	18



Implantation géographique de l'ouvrage (source : https://www.geoportail.gouv.fr/carte)

4.2 CARACTERISTIQUES DE L'OUVRAGE

Le **Château d'eau Morillot** est un château d'eau de type « cuve conique ». Il fait partie du réseau d'eau potable de la Base Navale de Brest.
Ses principales caractéristiques géométriques sont données ci-dessous :

- Hauteur totale : ~ 40 m,
- Fut cylindrique : Ø ~ 8.8 m / H ~ 27 m.

4.3 VIE DE L'OUVRAGE

4.3.1 CONSTRUCTION DE L'OUVRAGE

Date de construction ouvrage	:	*N.R.*

4.3.2 ACTIONS DE SURVEILLANCE

Date	Surveillance	Commentaires
/	/	/

Aucun historique sur les actions de surveillance éventuellement réalisées ne nous a été communiqué.

4.3.3 TRAVAUX D'ENTRETIEN ET DE REPARATION

Date	Entretien et réparation	Commentaires

Aucun historique sur les travaux d'entretien et de réparation éventuellement réalisés ne nous a été communiqué.

4.3.4 INVESTIGATIONS COMPLEMENTAIRES

Date	Surveillance	Commentaires
/	/	/

Aucun historique sur les investigations complémentaires éventuellement réalisées ne nous a été communiqué.

4.4 CONDITIONS DE L'INTERVENTION

Date de réalisation	:	Du 23/03/2026 au 26/03/2026
Composition de l'équipe	:	M. SAUVEE Régis – Technicien supérieur M. LEMARCHAND Guillaume – Ingénieur Chargé d'Affaires M. BANDERA Romain – Chauffeur Nacelle Poids-Lourd
Moyens d'accès mis en œuvre	:	Plateforme Individuelle Roulante Légère Nacelle PL 52 m
Moyens matériels mis en œuvre	:	Petit matériel Appareil photographique Corrosimètre (type ProfometerCorrosion, ScreeningEagle ®) Radar de structure (type StructureScan, GSSI®) Burineur Carotteuse Solution de thymolphtaléine
Méthode d'intervention utilisée	:	Relevé des principaux désordres visibles sur la totalité de l'ouvrage Caractérisation de l'étendue des désordres relevés Prise de photographie des désordres relevés Implantation des désordres relevés sur fond de plan Réalisation de 3 zones de diagnostic orienté corrosion des armatures et pollution des bétons
Conditions particulières de l'intervention	:	En raison de la hauteur de l'ouvrage, l'inspection et une zone de diagnostic ont été réalisé par nacelle PL
Difficultés rencontrées lors de l'intervention	:	Vents forts le 25/03/2026 ayant engendré l'arrêt de la nacelle. En conséquence, les carottages au niveau de la zone de diagnostic N°2 n'ont pas pu être réalisés.
Incidents survenus lors de l'intervention	:	Rien à Signaler
Conditions atmosphériques extérieures	:	23/03/2026 : Ensoleillé, 7 à 14°C 24/03/2026 : Ensoleillé, 8 à 13°C 25/03/2026 : Légèrement pluvieux et venteux, 7 à 11°C 26/03/2026 : Ensoleillé, 6 à 10°C

5 CODIFICATIONS UTILISEES

5.1 CODIFICATION DES DESORDRES

Les désordres visibles relevés ou détectés au cours de l'Inspection Approfondie (IA) de type **Inspection Visuelle du Château d'eau Morillot** ont été codifiés selon la méthodologie suivante :

- **Indice d'Etat Mécanique (IEm)**, pour les désordres révélateurs d'un défaut de fonctionnement structurel de l'ouvrage :

Indice d'Etat Mécanique (IEm)		Actions		
		Niveau	Type	Temporalité
IEm NE	Non évalué			
IEm 1	Bon état structurel	Entretien courant	Préventif	Long terme (5 à 6 ans)
IEm 2	Dégradation des matériaux ou désordres mécaniques sans gravité	Entretien spécialisé ou réparation		Moyen terme (3 à 4 ans)
IEm 3	Désordres mécaniques grave sans risque de ruine immédiate	Renforcement/confortement ou réparation	Curatif	Court terme (1 à 2 ans)
IEm 4	Désordres mécaniques graves – Risque de ruine immédiate	Mise en sécurité immédiate		Immédiat (quelques jours ou semaines)

- **Indice d'Etat d'Usage (IEu)**, pour les désordres pouvant ne plus permettre une exploitation normale et pouvant nuire à la sécurité des personnes :

Indice d'Etat d'Usage (IEu)		Actions		
		Niveau	Type	Temporalité
IEu NE	Non évalué			
IEu 1	Bon état structurel	Entretien courant	Préventif	Long terme (5 à 6 ans)
IEu 2	Dégradation des éléments d'usage créant des problèmes d'inconfort	Entretien spécialisé		Moyen terme (3 à 4 ans)
IEu 3	Dégradation des éléments d'usage créant des difficultés d'exploitation	Renforcement/confortement	Curatif	Court terme (1 à 2 ans)
IEu 4	Dégradation des éléments d'usage – Problèmes de sécurité immédiate	Mise en sécurité immédiate		Immédiat (quelques jours ou semaines)

5.2 CODIFICATION DES PRECONISATIONS D'ENTRETIEN, DE TRAVAUX ET DE SURVEILLANCE

Une synthèse des désordres visibles relevés ou détectés au cours de l'Inspection Approfondie (IA) de type **Inspection Visuelle du Château d'eau Morillot** a été réalisée, dans laquelle les désordres ont été classés en trois familles distinctes :

- **A**, les désordres ne nécessitant pas de travaux ou d'investigations complémentaires,
- **B**, les désordres devant faire l'objet d'investigations complémentaires pour en préciser l'étendue ou les causes,
- **C**, les désordres nécessitant des travaux curatifs ou d'entretien.

6 TABLEAU DE SYNTHESE DES DESORDRES VISIBLES RELEVES OU DETECTES

6.1 ABORDS ET ZONES D'INFLUENCE

6.1.1 INDICE D'ETAT D'USAGE (IE_U) 2026

Sans objet

6.1.2 INDICE D'ETAT D'USAGE (IE_U) 2026

Sans objet

6.1.3 INDICE D'ETAT MECANIQUE (IE_M) 2026

Sans objet.

6.2 EQUIPEMENTS

6.2.1 INDICE D'ETAT D'USAGE (IE_U) 2026

N° de désordre	Identifiant d'usage	Désordres observés	Préconisations	Indice d'Etat d'Usage 2026	Coût estimé (k€ HT)	Service concerné	N° de photographie
1	Anciens équipements	Corrosion des éléments, usure	Dépose des éléments	IEu 2	0.5	SID Atlantique	PH_5
2	Equipement métallique au sein de la cuve	Corrosion des éléments	Entretien, remplacement	IEu 2	0.5	SID Atlantique	PH_1 PH_18

N° de désordre	Identifiant d'usage	Désordres observés	Préconisations	Indice d'Etat d'Usage 2026	Coût estimé (k€ HT)	Service concerné	N° de photographie
3	Canalisation PVC	Fuite	Entretien, remplacement	IEu 2	0.5	SID Atlantique	PH_24

6.2.2 INDICE D'ETAT MECANIQUE (IE_M) 2026

Sans objet.

6.3 STRUCTURES PORTEUSES

6.3.1 *INDICE D'ETAT D'USAGE (IE_U) 2026*

N° de désordre	Identifiant d'usage	Désordres observés	Préconisations	Indice d'Etat d'Usage 2026	Coût estimé (k€ HT)	Service concerné	N° de photographie
4	Surface coupole	Altération localisée du revêtement d'étanchéité (cloquage)	Reprise locale du rêvetement	IEu 2	2	SID Atlantique	PH_3 PH_4
5	Surface coupole	Développement biologique	Curage / Nettoyage	IEu 2	0.5	SID Atlantique	PH_39
6	Surface coupole	Encrassement	Curage / Nettoyage	IEu 2	Compris dans préconisations du désordre 5	SID Atlantique	PH_2
7	Parement extérieur cuve et fût	Développement biologique	Curage / Nettoyage	IEu 2	1	SID Atlantique	PH_32 PH_37
8	Parement extérieur cuve et fût	Trace de calcite active	Recherche et traitement des éventuelles infiltrations Curage / Nettoyage Surveillance	IEu 2	2	SID Atlantique	PH_25
9	Parement extérieur cuve	Traces de rouilles	Curage / Nettoyage / Surveillance	IEu 2	Compris dans préconisations du désordre 7	SID Atlantique	PH_26
10	Parement extérieur cuve et fût	Dépôt noirâtre	Curage / Nettoyage	IEu 2	Compris dans préconisations du désordre 7	SID Atlantique	PH_29
11	Parement extérieur fût	Ecaillage de la peinture	Réfection locale du revêtement	IEu 2	2	SID Atlantique	PH_30 PH_38

N° de désordre	Identifiant d'usage	Désordres observés	Préconisations	Indice d'Etat d'Usage 2026	Coût estimé (k€ HT)	Service concerné	N° de photographie
12	Sous-face de cuve	Traces de calcite active	Recherche et traitement des éventuelles infiltrations Curage / Nettoyage Surveillance	IEu 2	1	SID Atlantique	PH_7 PH_21
13	Parement intérieur fût / Sous-face coupole	Réparations	Surveillance	IEu 1	/	SID Atlantique	PH_10
15	Parement intérieur fût	Développement biologique	Curage / Nettoyage	IEu 2	0.5	SID Atlantique	PH_13 PH_14
16	Parement intérieur cuve	Altération du revêtement (cloquage)	Réfection du revêtement	IEu 2	/	SID Atlantique	PH_22
26	Sous-face coupole	Traces de calcite active	Recherche et traitement des éventuelles infiltrations Curage / Nettoyage Surveillance	IEu 2	1	SID Atlantique	PH_16
28	Sous-face coupole	Percements non traversants	Rebouchage	IEu 1	/	SID Atlantique	PH_19

6.3.2 INDICE D'ETAT MECANIQUE (IE_M) 2026

N° de désordre	Identifiant Mécanique	Désordres observés	Préconisations	Indice d'Etat Mécanique 2026	Coût estimé (k€ HT)	Service concerné	N° de photographie
14	Sous-face de cuve	Aciers apparents corrodés	Purge, brossage de l'acier et ragréage du béton	IEm 2	0.5	SID Atlantique	PH_11
17	Acrotère	Lixiviation de la phase liante du béton	Ragréage localisé du béton	IEm 2	3	SID Atlantique	PH_6
18	Parement extérieur cuve	Fissures circulaires d'ouverture 0.1/0.2 mm, avec traces localisées de calcite active et de développement biologique	Curage / Nettoyage / Calfeutrement des fissures	IEm 2	5	SID Atlantique	PH_27 PH_28 PH_33
19	Parement extérieur cuve et fût	Fissures verticales d'ouvertures 0.1/0.2 mm et de longueur 1 m à 3 m	Calfeutrement des fissures	IEm 2	Compris dans préconisations du désordre 18	SID Atlantique	PH_27
20	Parement extérieur fût	Eclat de béton avec acier apparent corrodé avec perte de diamètre	Remplacement de l'acier corrodé dans les règles de l'art et ragréage du béton	IEm 2	1	SID Atlantique	PH_31
21	Fût	Fissure verticale traversante de 0.3/0.4 mm d'ouverture et 18.5 m de long	Surveillance renforcée par la réalisation d'une instrumentation de la fissure	IEm 3	Devis à fournir par Ginger CEBTP	SID Atlantique	PH_15 PH_35 PH_36
22	Parement intérieur fût et sous face de cuve	Fissures verticales d'ouvertures 0.2/0.4 mm et de longueur 1 à 3 m avec traces de calcites et développement biologique	Surveillance renforcée par la réalisation d'une instrumentation des fissures	IEm 3	Devis à fournir par Ginger CEBTP	SID Atlantique	PH_8 PH_9

N° de désordre	Identifiant Mécanique	Désordres observés	Préconisations	Indice d'Etat Mécanique 2026	Coût estimé (k€ HT)	Service concerné	N° de photographie
23	Trappe de passage du treuil	Eclat de béton et acier apparent corrodé avec perte diamètre	Remplacement de l'acier corrodé dans les règles de l'art et ragréage du béton	IEm 2	2	SID Atlantique	PH_12
24	Parement intérieur fût	Fissure verticale d'ouverture 0.1 mm et de longueur 1 m	Calfeutrement de la fissure	IEm 2	1	SID Atlantique	PH_14
25	Parement intérieur cuve	Fissure circulaire à la jonction fond de cuve / voile, d'ouverture 0.1/0.2 mm	Calfeutrement	IEm 2	1	SID Atlantique	PH_23
27	Sous-face coupole / Palier cuve	Aciers apparents corrodés	Purge, brossage de l'acier et ragréage du béton	IEm 2	1	SID Atlantique	PH_17 PH_20

7 RECAPITULATIF DES DESORDRES VISIBLES RELEVES OU DETECTES ET CODIFICATION ASSOCIEE

7.1 INDICE D'ETAT MECANIQUE (IE_M) 2026

Partie de l'ouvrage	Identifiant mécanique	N° de désordre	Désordres observés	Causes probables	Evolution constatée	Indice d'Etat Mécanique 2026
Structure porteuse	Sous-face de cuve	14	Eclats de béton avec corrosion de ligature	Vieillissement de matériaux	/	IEm 2
	Acrotère	17	Lixiviation de la phase liante du béton	Vieillissement de matériaux	/	IEm 2

Partie de l'ouvrage	Identifiant mécanique	N° de désordre	Désordres observés	Causes probables	Evolution constatée	Indice d'Etat Mécanique 2026
Structure porteuse	Parement extérieur cuve	18	Fissures circulaires d'ouverture 0.1/0.2 mm, avec traces localisées de calcite active et de développement biologique	Vieillissement de matériaux / Agressions extérieures / Possibles mouvements structurels	/	IEm 2
	Parement extérieur cuve et fût	19	Fissures verticales d'ouvertures 0.1/0.2 mm et de longueur 1 m à 3 m	Vieillissement de matériaux	/	IEm 2
	Parement extérieur fût	20	Eclat de béton avec acier apparent corrodé avec perte de diamètre	Vieillissement de matériaux / Agressions extérieures	/	IEm 2
	Fût	21	Fissure verticale traversante de 0.3/0.4 mm d'ouverture et 18.5 m de long	Vieillissement de matériaux / Agressions extérieures / Possibles mouvements structurels	/	IEm 3
	Parement intérieur fût et sous face de cuve	22	Fissures verticales d'ouvertures 0.2/0.4 mm et de longueur 1 à 3 m avec traces de calcites et développement biologique	Vieillissement de matériaux / Agressions extérieures / Possibles mouvements structurels	/	IEm 3
	Trappe de passage du treuil	23	Eclat de béton et acier apparent corrodé avec perte diamètre	Vieillissement de matériaux / Agressions extérieures	/	IEm 2
	Parement intérieur fût	24	Fissure verticale d'ouverture 0.1 mm et de longueur 1 m	Vieillissement de matériaux	/	IEm 2
	Parement intérieur cuve	25	Fissure circulaire à la jonction fond de cuve / voile, d'ouverture 0.1/0.2 mm	Vieillissement de matériaux / Agressions extérieures / Possibles mouvements structurels	/	IEm 2
	Sous-face coupole	27	Aciers apparents corrodés	Vieillissement de matériaux / Agressions extérieures	/	IEm 2

7.2 INDICE D'ETAT D'USAGE (IE_U) 2026

Partie de l'ouvrage	Identifiant d'usage	N° de désordre	Désordres observés	Causes probables	Evolution constatée	Indice d'Etat d'Usage 2026
Equipement	Anciens équipements	1	Corrosion des éléments, usure	Vieillissement	/	IEu 2
	Equipement métallique au sein de la cuve	2	Corrosion des éléments	Vieillissement	/	IEu 2
	Canalisation PVC	3	Fuite	Vieillissement	/	IEu 2
Structure porteuse	Surface coupole	4	Altération localisée du revêtement d'étanchéité (cloquage)	Vieillissement de matériaux	/	IEu 2
	Surface coupole	5	Développement biologique	Vieillissement de matériaux	/	IEu 2
	Surface coupole	6	Encrassement	Vieillissement de matériaux	/	IEu 2
	Parement extérieur cuve et fût	7	Développement biologique	Vieillissement de matériaux	/	IEu 2
	Parement extérieur cuve et fût	8	Trace de calcite active	Défaut d'étanchéité / Infiltrations d'eau	/	IEu 2
	Parement extérieur cuve	9	Traces de rouilles	Vieillissement de matériaux	/	IEu 2
	Parement extérieur cuve et fût	10	Dépôt noirâtre	Vieillissement de matériaux	/	IEu 2

Partie de l'ouvrage	Identifiant d'usage	N° de désordre	Désordres observés	Causes probables	Evolution constatée	Indice d'Etat d'Usage 2026
Structure porteuse	Parement extérieur fût	11	Ecaillage de la peinture	Vieillissement de matériaux	/	IEu 2
	Sous-face de cuve	12	Traces de calcite active	Défaut d'étanchéité / Infiltrations d'eau	/	IEu 2
	Parement intérieur fût	13	Réparations	Réparation d'un désordre ou d'une investigation	/	IEu 1
	Parement intérieur fût	15	Développement biologique	Vieillissement de matériaux	/	IEu 2
	Parement intérieur cuve	16	Altération du revêtement (cloquage)	Vieillissement de matériaux	/	IEu 2
	Sous-face coupole	26	Traces de calcite active	Vieillissement de matériaux	/	IEu 2
	Sous-face coupole	28	Percements non traversants	Exploitation	/	IEu 1

8 PRECONISATIONS D'ENTRETIEN, DE TRAVAUX ET DE SURVEILLANCE

8.1 EQUIPEMENTS

		Indice d'Etat Mécanique 2026	Indice d'Etat d'Usage 2026
Codification de la partie de l'ouvrage		/	IEu 2
Principaux désordres visibles		/	Corrosion Usure Fuite
Causes probables		/	Vieillissement
Codification des préconisations et N° de désordre associé	**A**	/	/
	B	/	/
	C	/	1, 2, 3

Les équipements de l'ouvrage ne présentent pas de désordre comportant un risque pour la sécurité des personnes évoluant à proximité.
Les désordres relevés est la corrosion sont de la corrosion d'éléments métalliques et la fuite d'une canalisation PVC.

Afin de pérenniser les équipements, nous préconisons la dépose, l'entretien ou le remplacement des éléments concernés.

8.2 STRUCTURES PORTEUSES

		Indice d'Etat Mécanique 2026	Indice d'Etat d'Usage 2026
Codification de la partie de l'ouvrage		IEm 3	IEu 2
Principaux désordres visibles		Lixiviation de la phase liante du béton Fissures traversantes Fissures avec traces de calcites Fissures Eclat de béton avec acier apparent corrodé	Altération des revêtements Développement biologique Encrassement Traces de calcite active Traces de rouilles Dépôt noirâtre Réparation Eclat de béton Percements
Causes probables		Vieillissement de matériaux Agressions extérieures Possibles mouvements structurels	Vieillissement Vieillissement de matériaux Défaut d'étanchéité / Infiltrations d'eau Réparation d'un désordre ou d'une investigation
Codification des préconisations et N° de désordre associé	**A**	/	13, 28
	B	21, 22	8, 12
	C	14, 17, 18, 19, 20, 23, 24, 25, 27	4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 15, 16, 26

La structure porteuse de l'ouvrage ne présente pas de désordre remettant en cause sa capacité portante à court terme. Cependant, la présence d'une fissure traversante au niveau du fût pourrait être due à des mouvement structurels non stabilisés ou des surcharges.
Ces défauts pourraient constituer à moyen terme, une insuffisance structurelle et remettre en cause la stabilité de l'ouvrage.
Il est nécessaire d'apporter une surveillance et un suivi régulier de l'évolution de ce désordre ainsi que des mouvements globaux de la structure, afin de déterminer si ces mouvements structurels sont stabilisés ou continuent de progresser.
Il est ainsi préconisé de réaliser une instrumentation de cette fissure traversante.

Ainsi, l'Indice d'Etat Mécanique de l'ouvrage est IEm 3, il est principalement justifié par le désordre de type fissure traversante.

D'autres désordres, d'importance moindre, apparaissent également (lixiviation de la phase liante du béton, fissures de faibles ouvertures, aciers corrodés isolés) il est alors préconisé de réaliser :

- Un ragréage des zones lixiviées,
- Un calfeutrement des fissures,
- Remplacement des aciers corrodés isolés et ragréage du béton.

L'Indice d'Etat d'Usage de l'ouvrage est IEu 2 dû aux désordres mineurs, mais nécessitant un entretien spécialisé afin de garantir la pérennité de l'ouvrage.

D'autres désordres apparaissent également (traces d'humidité, développements biologiques, traces de calcite active, altération de revêtement). Il est alors préconisé de réaliser :

- La recherche puis le traitement des éventuelles infiltrations d'eau et les désordres associés, puis une surveillance,
- Une réfection des revêtement altérés,
- Un curage / nettoyage des éléments présentant un développement biologique.

9 RESULTATS DU DIAGNOSTIC PATHOLOGIQUE ORIENTE CORROSION DES ARMATURES ET POLLUTION DES BETONS

9.1 DESCRIPTION DES INVESTIGATIONS *IN-SITU*

Le tableau suivant synthétise la localisation et la description des investigations réalisées sur site en fonction des désordres rencontrés au droit des zones de diagnostic.

N° de zone de diagnostic	Elément investigué	Investigations réalisées	Dénomination de la zone de diagnostic	Principaux désordres observés
N°1	Parement extérieur du fût	Mesures de détection des armatures Sondages destructifs Mesures *in-situ* du front de carbonatation de la pâte de ciment du béton Mesure du potentiel d'électrode (potentiel de corrosion) des armatures Prélèvements de béton par carottage sous eau (en dehors de la zone N°2)	**Zone de diagnostic N°1 Zone visuellement altérée**	Fissure traversante d'ouverture 0.3/0.4 mm et 18.5 m de long
N°2	Parement extérieur de la cuve		**Zone de diagnostic N°2 Zone visuellement saine**	/
N°3	Parement intérieur en tête du fût		**Zone de diagnostic N°3 Zone visuellement altérée**	Fissure d'ouverture 0.2 mm et 2 m de long

Synthèse des investigations réalisées sur site

Notas :

- *L'implantation des investigations réalisées sur site est disponible en* ***Annexe 3,***
- *Le traitement statistique des mesures de détection des armatures est disponible en* ***Annexe 4,***
- *L'ensemble des enrobages sont donnés depuis le nu du béton,*
- *À défaut de connaître la date de construction de l'ouvrage, l'analyse de l'enrobage au sein du présent rapport s'appuie sur l'Eurocode 2. L'association d'une classe structurale S5 et d'une classe d'exposition XS1 impose une valeur nominale d'enrobage minimal de 40 mm,*
- *L'implantation des zones de diagnostic à été réalisé suite à l'observation de l'absence de désordres liés à la corrosion en partie courante des différents éléments lors de la phase d'inspection.*

ZONE DE DIAGNOSTIC N°1 : ZONE VISUELLEMENT ALTEREE – PAREMENT EXTERIEUR DU FUT

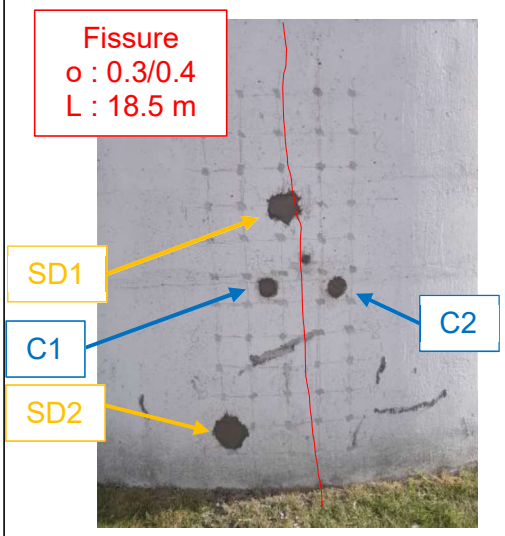
Zone de diagnostic N°1 : Zone visuellement altérée : Parement extérieur du fut

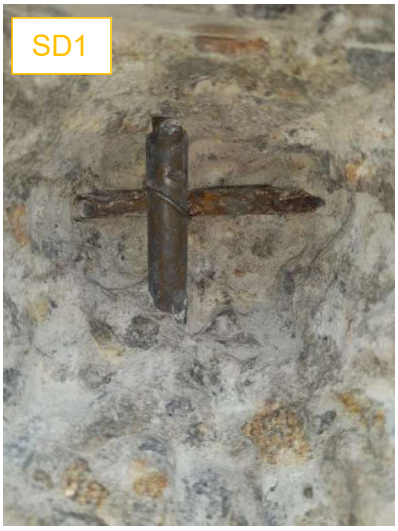
Détection et mesure de l'enrobage des armatures du 1er lit noyées dans le béton

Orientation des armatures	N° fichier	Nb d'armatures	Ecart-type (mm)	Enrobage min (mm)	Enrobage max (mm)	Enrobage moy (mm)
Verticales	F8, F9 & F10	40	5	52	73	63
Horizontales	F6 & F7	30	5	69	94	79

Relevé des caractéristiques des armatures du 1er lit dégagées

Sondage	Orientation de l'armature	Nuance	Ø (mm)	$Ø_{résiduel}$ (mm)	Enrobage (mm)	Etat de corrosion des armatures dégagées
SD1	Verticale	RL	12	/	58	Légère oxydation généralisée sans perte de diamètre ou piqûration
	Horizontale	RL	8	/	70	
SD2	Verticale	RL	12	/	65	
	Horizontale	RL	8	/	78	







À défaut de connaître la date de construction de l'ouvrage, l'analyse de l'enrobage s'appuie sur l'Eurocode 2. L'association d'une classe structurale S5 et d'une classe d'exposition XS1 impose une valeur nominale d'enrobage minimal de 40 mm.

Mesures du front de carbonatation de la pâte de ciment des bétons

Profondeur de carbonatation in-situ (mm)	SD1 : <1 mm SD2 : 2 mm

Profondeur d'analyse des profils	**Teneur en ions chlorure libres (% masse ciment)**	**Teneur en ions chlorure totaux (% masse ciment)**
Tranche C1 (0-1 cm)	0.04	0.10
Tranche C1 (6-7 cm)	0.02	0.02
Tranche C1 (11-12 cm)	0.02	0.02

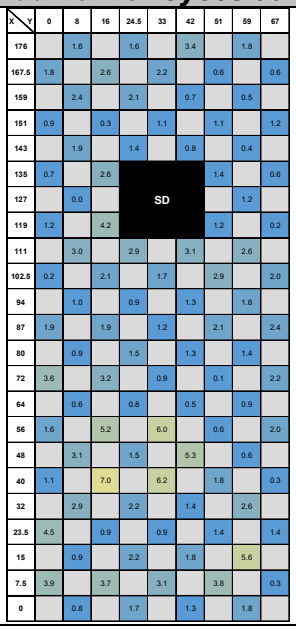
La valeur de conformité du béton vis-à-vis de la teneur en ions chlorures totaux (conformément au paragraphe NA.5.2.8 de la norme NF EN 206+A2/CN qui spécifie cette teneur en amont des fabrications de béton contenant des armatures en acier ou des pièces métalliques noyées, et ce pour un ciment de type CEM I ou CEM II) est admise à 0.4 % par rapport à la masse de ciment et est admise à 0.65 % par rapport à la masse de ciment pour un ciment de type CEM III.
La teneur critique en ions chlorures libre pouvant amorcer un phénomène de corrosion est admise à 0.4 % par rapport à la masse de ciment au niveau des armatures (valeur généralement admise dans la littérature scientifique).

Mesure électrochimique du potentiel d'électrode des armatures du 1er lit noyées dans le béton

Fissure

X \ Y	0	16	33	51	67
176	-95	-120	-92	-153	-124
159	-125	-164	-129	-142	-134
143	-139	-169	-146	-160	-154
127	-128	-128	SD	-182	-163
111	-147	-195	-146	-201	-160
94	-144	-160	-175	-152	-126
80	-118	-133	-158	-182	-159
64	-175	-185	-172	-181	-195
48	-150	-101	-76	-172	-163
32	-167	-213	-175	-200	-158
15	-243	-229	-191	-224	-134
0	-185	-173	-144	-167	-138

SD2



Selon les critères de la Norme Américaine ASTM C876

Probabilité de corrosion	*Faible à 92 %* *Incertaine à 8%*

Selon les critères de l'Action de recherche Européenne COST 509

Données	*Mesure min*	*Mesure max*	*Mesure moy.*	*COST 509*	*Risque incertain de corrosion localisée*
Brutes	*-243 mV*	*-76 mV*	*-158 mV*	*167 mV*	

Continuité électrique des armatures	*Vérifiée et avérée*

Selon les recommandations de la RILEM TC 154-EMC

Données	*Mesure min*	*Mesure max*	*Mesure moy.*	*Activité de corrosion*
Traitement Gradient	*0.0 mV/cm*	*7.0 mV/cm*	*1.9 mV/cm*	*Passive à 94 %* *Incertaine à 6 %*

Environnement d'exposition	*Gamme Ucorr (mV, Cu/CuSO$_4$)*
« Béton sec »	*200 mV ; 0 mV*

Vérification en zone Cathodique/Anodique : Relevé des caractéristiques des armatures du 1er lit dégagées

Selon la COST 509, la différence de potentiel d'électrode est comprise entre 150 et 200 mV ce qui est caractéristique d'un risque de corrosion localisé incertain. Un sondage destructif complémentaire a été réalisé en zone anodique afin de vérifier l'uniformité de l'état de corrosion des armatures. L'état de corrosion est similaire entre les deux sondages.

Synthèse :

- La zone de diagnostic est implantée au droit du parement extérieur du fût, et est visuellement altérée,
- Les armatures dégagées au niveau des sondages destructifs présentent une légère oxydation généralisée sans perte de diamètre ou piqûration,
- Les armatures présentent un enrobage suffisant suivant l'Eurocode 2. L'association d'une classe structurale S5 et d'une classe d'exposition XS1 impose une valeur nominale d'enrobage minimal de 40 mm,
- Au regard de l'enrobage des armatures, il n'est pas observé de dépassivation des armatures vis-à-vis du phénomène de carbonatation de la pâte de ciment ayant dépassé l'enrobage des armatures,
- Des teneurs en ions chlorures totaux n'ayant pas dépassé la valeur de conformité de 0.4 % (définie au paragraphe NA 5.2.8 de la norme NF EN 206+A2/CN) par rapport à la masse de ciment pour l'intégralité des tranches de béton analysées,
- Des teneurs en ions chlorures libres n'ayant pas dépassé la teneur critique pouvant amorcer un phénomène de corrosion de 0.4% par rapport à la masse de ciment pour l'intégralité des tranches de béton analysées,
- Les valeurs de potentiel d'électrode des armatures *(par rapport à une électrode de référence Cu/CuSO$_4$)* indiquent un état électrochimique incertain. Un sondage destructif complémentaire a été réalisé en zone anodique afin de vérifier l'uniformité de l'état de corrosion des armatures. L'état de corrosion est similaire entre les deux sondages destructifs. Cela nous permet de conclure sur l'homogénéité de l'état électrochimique au sein de cette zone de diagnostic,
- Les valeurs du potentiel d'électrode des armatures *(par rapport à une électrode de référence Cu/CuSO$_4$)* sont anormalement faibles. Ce phénomène peut s'expliquer par une humidité relative du béton dû à l'exposition à l'environnement extérieur.

***In-fine*, il n'est pas observé d'activité de corrosion au sein de la zone de diagnostic.**

9.2 ZONE DE DIAGNOSTIC N°2 : ZONE VISUELLEMENT SAINE – PAREMENT EXTERIEUR DE LA CUVE

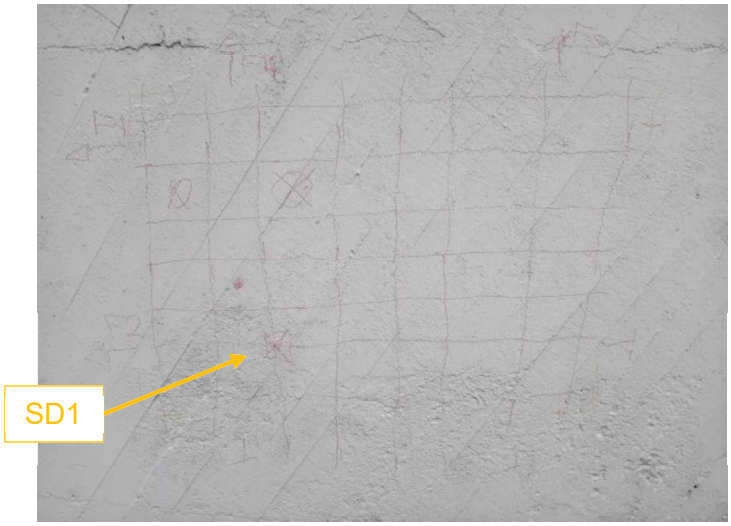
Zone de diagnostic N°2 : Zone visuellement saine : Parement extérieur de la cuve

Détection et mesure de l'enrobage des armatures du 1er lit noyées dans le béton

Orientation des armatures	N° fichier	Nb d'armatures	Ecart-type (mm)	Enrobage min (mm)	Enrobage max (mm)	Enrobage moy (mm)
Verticales	F1 & F2	19	4	49	62	53
Horizontales	F3 & F4	19	5	56	71	63

Relevé des caractéristiques des armatures du 1er lit dégagées

Sondage	Orientation de l'armature	Nuance	Ø (mm)	$Ø_{résiduel}$ (mm)	Enrobage (mm)	Etat de corrosion des armatures dégagées
SD1	Verticale	RL	8	/	50	Légère oxydation généralisée sans perte de diamètre ou piqûration
	Horizontale	RL	16	/	60	





À défaut de connaître la date de construction de l'ouvrage, l'analyse de l'enrobage s'appuie sur l'Eurocode 2. L'association d'une classe structurale S5 et d'une classe d'exposition XS1 impose une valeur nominale d'enrobage minimal de 40 mm.

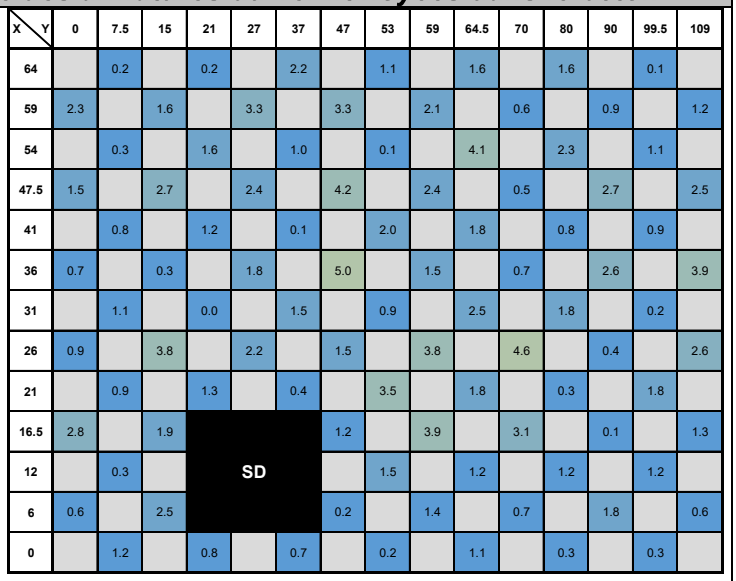
Mesures du front de carbonatation de la pâte de ciment des bétons

Profondeur de carbonatation in-situ (mm)	SD1 : <1 mm

En raison des intempéries (vents forts), il n'a pas été réalisé de prélèvements de béton carottages au sein de cette zone de diagnostic. Par corrélation avec la zone effectuée en pied de fût, il est pris l'hypothèse d'une absence de pollution par les ions chlorures libres et les ions chlorures totaux.

Mesure électrochimique du potentiel d'électrode des armatures du 1er lit noyées dans le béton

X \ Y	0	15	27	47	59	70	90	109
64	-11	-14	-16	-61	-48	-66	-35	-34
54	-34	-30	-49	-28	-27	-72	-26	-46
41	-53	-65	-80	-82	-58	-78	-61	-78
31	-46	-62	-62	-32	-43	-71	-35	-39
21	-37	-24	-40	-47	-5	-25	-31	-65
12	-12	-7	SD	-58	-40	-53	-30	-53
0	-19	-37	-46	-60	-57	-45	-51	-46



Selon les critères de la Norme Américaine ASTM C876	
Probabilité de corrosion	*Faible à 100 %*

Selon les critères de l'Action de recherche Européenne COST 509

Données	Mesure min	Mesure max	Mesure moy.	COST 509	
Brutes	-82 mV	-5 mV	-44 mV	77 mV	Risque faible de corrosion localisée

Continuité électrique des armatures	/

Selon les recommandations de la RILEM TC 154-EMC

Données	Mesure min	Mesure max	Mesure moy.	Activité de corrosion
Traitement Gradient	0.0 mV/cm	5.0 mV/cm	1.6 mV/cm	Passive à 99 % Incertaine à 1 %

Environnement d'exposition	Gamme Ucorr (mV, $Cu/CuSO_4$)
« Béton sec »	200 mV ; 0 mV

Vérification en zone Cathodique/Anodique : Relevé des caractéristiques des armatures du 1er lit dégagées

Selon la COST 509, la différence de potentiel d'électrode est inférieure à 150 mV ce qui est caractéristique d'un état électrochimique des armatures homogène.

Synthèse :

- La zone de diagnostic est implantée au droit du parement extérieur de la cuve, et est visuellement saine,
- Les armatures dégagées au niveau du sondage destructif présentent une légère oxydation généralisée sans perte de diamètre ou piqûration,
- Les armatures présentent un enrobage suffisant suivant l'Eurocode 2. L'association d'une classe structurale S5 et d'une classe d'exposition XS1 impose une valeur nominale d'enrobage minimal de 40 mm,
- Au regard de l'enrobage des armatures, il n'est pas observé de dépassivation des armatures vis-à-vis du phénomène de carbonatation de la pâte de ciment ayant dépassé l'enrobage des armatures,
- Des teneurs en ions chlorures totaux n'ayant pas dépassé la valeur de conformité de 0.4 % (définie au paragraphe NA 5.2.8 de la norme NF EN 206+A2/CN) par rapport à la masse de ciment pour l'intégralité des tranches de béton analysées (en corrélation avec les résultats obtenue pour la zone 1),
- Des teneurs en ions chlorures libres n'ayant pas dépassé la teneur critique pouvant amorcer un phénomène de corrosion de 0.4% par rapport à la masse de ciment pour l'intégralité des tranches de béton analysées,
- Les valeurs de potentiel d'électrode des armatures *(par rapport à une électrode de référence $Cu/CuSO_4$)* indiquent un état électrochimique homogène (en corrélation avec les résultats obtenue pour la zone 1),
- Les valeurs du potentiel d'électrode des armatures *(par rapport à une électrode de référence $Cu/CuSO_4$)* sont anormalement faibles. Ce phénomène peut s'expliquer par une humidité relative du béton dû à l'exposition à l'environnement extérieur.

***In-fine*, il n'est pas observé d'activité de corrosion au sein de la zone de diagnostic.**

9.3 ZONE DE DIAGNOSTIC N°3 : ZONE VISUELLEMENT ALTEREE – PAREMENT INTERIEUR EN TETE DE FUT

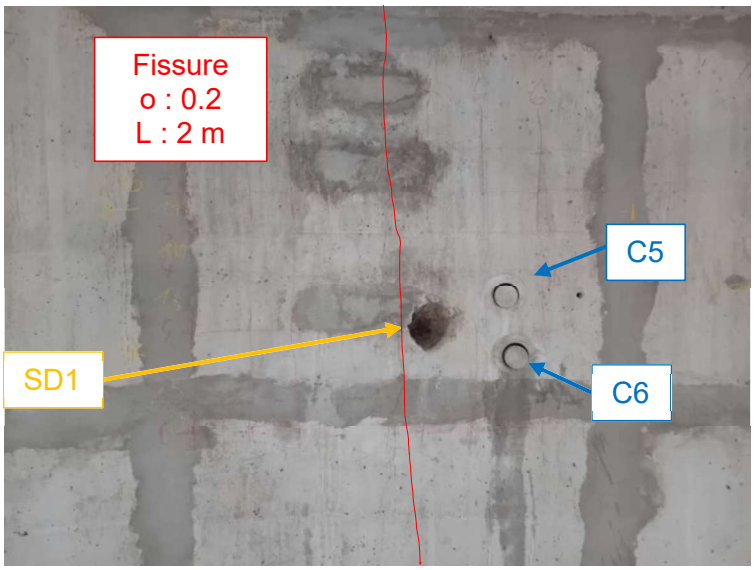
Zone de diagnostic N°3 : Zone visuellement altérée : Parement intérieur en tête de fut

Détection et mesure de l'enrobage des armatures du 1er lit noyées dans le béton

Orientation des armatures	N° fichier	Nb d'armatures	Ecart-type (mm)	Enrobage min (mm)	Enrobage max (mm)	Enrobage moy (mm)
Verticales	F13 & F14	17	7	131	154	145
Horizontales	F15 & F16	13	9	121	148	133

Relevé des caractéristiques des armatures du 1er lit dégagées

Sondage	Orientation de l'armature	Nuance	Ø (mm)	$Ø_{résiduel}$ (mm)	Enrobage (mm)	Etat de corrosion des armatures dégagées
SD1	Verticale	RL	8	/	139	Visuellement saines
	Horizontale	RL	6	/	131	





À défaut de connaître la date de construction de l'ouvrage, l'analyse de l'enrobage s'appuie sur l'Eurocode 2. L'association d'une classe structurale S5 et d'une classe d'exposition XS1 impose une valeur nominale d'enrobage minimal de 40 mm.

Mesures du front de carbonatation de la pâte de ciment des bétons

Profondeur de carbonatation in-situ (mm)	SD1 : <1 mm

Profondeur d'analyse des profils	***Teneur en ions chlorure libres (% masse ciment)***	***Teneur en ions chlorure totaux (% masse ciment)***
Tranche C6 (0-1 cm)	0.07	0.07
Tranche C1 (12.5-13.5 cm)	0.04	0.05
Tranche C1 (13.5-14.5 cm)	0.05	0.10

La valeur de conformité du béton vis-à-vis de la teneur en ions chlorures totaux (conformément au paragraphe NA.5.2.8 de la norme NF EN 206+A2/CN qui spécifie cette teneur en amont des fabrications de béton contenant des armatures en acier ou des pièces métalliques noyées, et ce pour un ciment de type CEM I ou CEM II) est admise à 0.4 % par rapport à la masse de ciment et est admise à 0.65 % par rapport à la masse de ciment pour un ciment de type CEM III.
La teneur critique en ions chlorures libre pouvant amorcer un phénomène de corrosion est admise à 0.4 % par rapport à la masse de ciment au niveau des armatures (valeur généralement admise dans la littérature scientifique).

Mesure électrochimique du potentiel d'électrode des armatures du 1er lit noyées dans le béton

Fissure

X \ Y	0	13	25	62	76	92
73	64	56	0	-10	55	59
62	68	45	9	0	52	53
51	53	46	20	-8	21	51
41	56	40	31	-12	31	61
25	68	43	23	SD	18	75
0	66	56	28	8	30	60

X \ Y	0	6.5	13	19	25	43.5	62	69	76	84	92
73		0.6		4.7		0.3		4.6		0.2	
67.5	0.4		1.0		0.8		0.9		0.3		0.5
62		1.8		3.0		0.2		3.7		0.1	
56.5	1.4		0.1		1.0		0.7		2.8		0.2
51		0.5		2.2		0.8		2.1		1.9	
46	0.3		0.6		1.1		0.4		1.0		1.0
41		1.2		0.8		1.2		3.1		1.9	
33	0.8		0.2		0.5				0.8		0.9
25		1.9		1.7		SD				3.6	
12.5	0.1		0.5		0.2				0.5		0.6
0		0.8		2.3		0.5		1.6		1.9	

Selon les critères de la Norme Américaine ASTM C876

Probabilité de corrosion	*Faible à 100 %*

Selon les critères de l'Action de recherche Européenne COST 509

Données	*Mesure min*	*Mesure max*	*Mesure moy.*	*COST 509*	*Risque faible de corrosion localisée*
Brutes	*-12 mV*	*75 mV*	*38 mV*	*87 mV*	

Continuité électrique des armatures	/

Selon les recommandations de la RILEM TC 154-EMC

Données	*Mesure min*	*Mesure max*	*Mesure moy.*	*Activité de corrosion*
Traitement Gradient	*0.1 mV/cm*	*4.7 mV/cm*	*1.2 mV/cm*	*Passive à 100 %*

Environnement d'exposition	*Gamme Ucorr (mV, Cu/CuSO4)*
« Béton sec »	*200 mV ; 0 mV*

Vérification en zone Cathodique/Anodique : Relevé des caractéristiques des armatures du 1er lit dégagées

Selon la COST 509, la différence de potentiel d'électrode est inférieure à 150 mV ce qui est caractéristique d'un état électrochimique des armatures homogène.

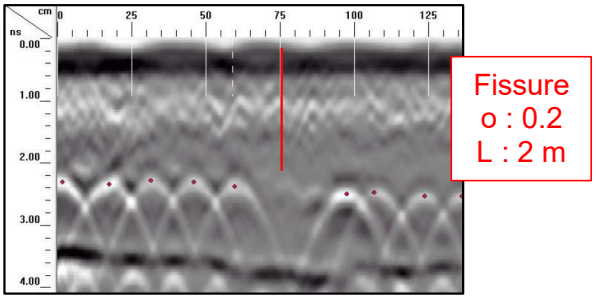
Synthèse :

- La zone de diagnostic est implantée au droit du parement extérieur de la cuve, et est visuellement altérée,
- Les armatures dégagées au niveau du sondage destructif sont visuellement saine,
- Les armatures présentent un enrobage suffisant suivant l'Eurocode 2. L'association d'une classe structurale S5 et d'une classe d'exposition XS1 impose une valeur nominale d'enrobage minimal de 40 mm,
- Au regard de l'enrobage des armatures, il n'est pas observé de dépassivation des armatures vis-à-vis du phénomène de carbonatation de la pâte de ciment ayant dépassé l'enrobage des armatures,
- Des teneurs en ions chlorures totaux n'ayant pas dépassé la valeur de conformité de 0.4 % (définie au paragraphe NA 5.2.8 de la norme NF EN 206+A2/CN) par rapport à la masse de ciment pour l'intégralité des tranches de béton analysées,
- Des teneurs en ions chlorures libres n'ayant pas dépassé la teneur critique pouvant amorcer un phénomène de corrosion de 0.4% par rapport à la masse de ciment pour l'intégralité des tranches de béton analysées,
- Les valeurs de potentiel d'électrode des armatures *(par rapport à une électrode de référence Cu/CuSO4)* indiquent un état électrochimique homogène,

***In-fine*, il n'est pas observé d'activité de corrosion au sein de la zone de diagnostic.**

Nota important :

Au droit de la fissure présente au sein de la zone de diagnostic N°3, il est observé l'absence d'armatures (espacement d'environ 40 cm entre les deux armatures verticales du centre de la zone). Cette observation a également été effectué au droit de chacune des fissures verticales présentes en tête de fut.

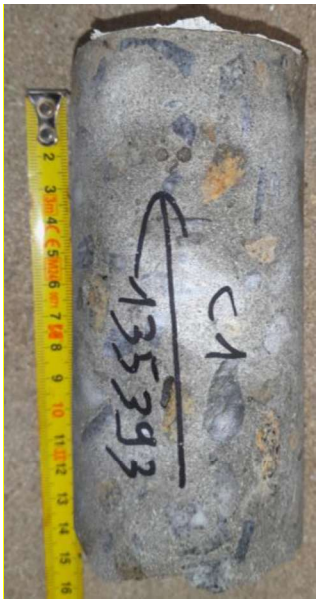
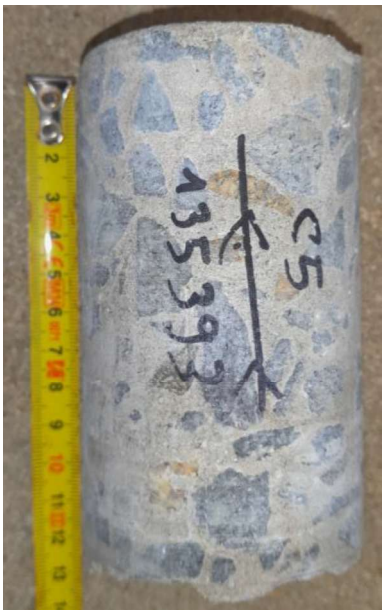


Localisation de la fissure

10 ESSAIS ET ANALYSES EN LABORATOIRE

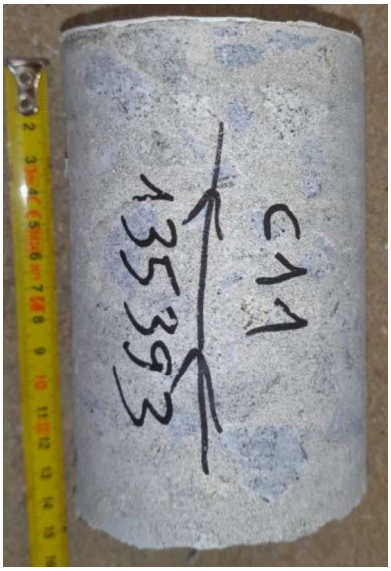
Ce paragraphe résume les essais et analyses effectués par le laboratoire interne de Ginger CEBTP - Agence de Rennes et le laboratoire interne de chimie / microstructure de Ginger CEBTP – Agence d'Elancourt. Le rapport complet du laboratoire de chimie / microstructures est disponible en ***Annexe 5.***

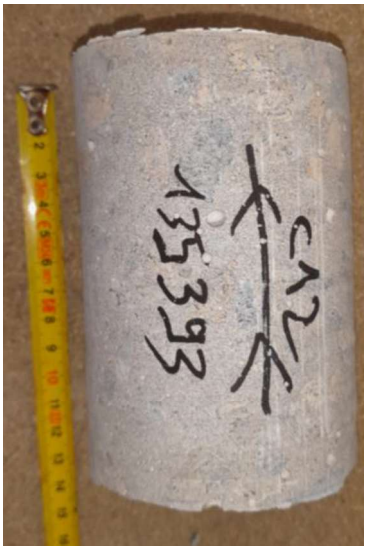
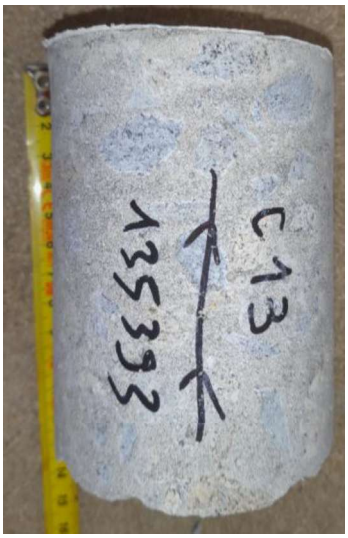
Les descriptions des carottes prélevées *in-situ* sont à retrouver dans les tableaux ci-dessous :

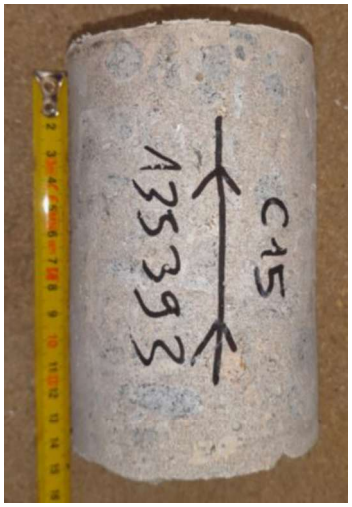
	C1	C2	C5
Localisation	Zone de diagnostic N°1	Zone de diagnostic N°1	Zone de diagnostic N°3
Diamètre (mm)	64	64	64
Longueur totale (mm)	125 à 130	120 à 130	100 à 115
Revêtements	Peinture : 1 mm	Peinture : 1 mm	/
Remarques	*Nombreux petits bullages* *D_{max} du béton : 13 mm* *Carottage non-traversant*	*Nombreux petits bullages* *D_{max} du béton : 12 mm* *Carottage non-traversant*	*Faible bullage* *D_{max} du béton : 14 mm* *Carottage non-traversant*
Cliché de la carotte			

Nota : *Les carottages C3 et C4 sont ceux qui étaient prévus au niveau de la zone N°2, et qui n'ont pas été réalisés en raison des intempéries (vents forts).*

	C6	C7	C8
Localisation	Zone de diagnostic N°3	Parement extérieur du fut	Parement extérieur du fut
Diamètre (mm)	64	79	79
Longueur totale (mm)	145 à 150	120 à 130	115 à 125
Revêtements	/	Peinture : 1 mm	Peinture : 1 mm
Remarques	*Faible bullage* *D_{max} du béton : 14 mm* *Carottage non-traversant*	*Nombreux petits bullages* *D_{max} du béton : 16 mm* *Carottage non-traversant*	*Nombreux petits bullages* *D_{max} du béton : 11 mm* *Carottage non-traversant*
Cliché de la carotte			

	C9	C10	C11
Localisation	Parement extérieur du fut	Parement extérieur du fut	Parement extérieur du fut
Diamètre (mm)	79	79	79
Longueur totale (mm)	125 à 130	120 à 130	120 à 130
Revêtements	Peinture : 1 mm	Peinture : 1 mm	Peinture : 1 mm
Remarques	*Nombreux petits bullages* *D_{max} du béton : 14 mm* *Carottage non-traversant*	*Nombreux petits bullages* *D_{max} du béton : 14 mm* *Carottage non-traversant*	*Nombreux petits bullages* *D_{max} du béton : 13 mm* *Carottage non-traversant*
Cliché de la carotte			

	C12	C13	C14
Localisation	Parement extérieur du fut	Parement extérieur du fut	Parement extérieur du fut
Diamètre (mm)	79	79	79
Longueur totale (mm)	110 à 120	105 à 115	110 à 120
Revêtements	Peinture : 1 mm	Peinture : 1 mm	Peinture : 1 mm
Remarques	*Quelques gros bullages* *D_{max} du béton : 13 mm* *Carottage non-traversant*	*Faible bullage* *D_{max} du béton : 15 mm* *Carottage non-traversant*	*Nombreux gros bullages* *D_{max} du béton : 15 mm* *Carottage non-traversant*
Cliché de la carotte			

	C15	C16
Localisation	Parement extérieur du fut	Parement extérieur du fut
Diamètre (mm)	79	79
Longueur totale (mm)	110 à 125	115 à 130
Revêtements	Peinture : 1 mm	Peinture : 1 mm
Remarques	*Faible bullage* *D_{max} du béton : 14 mm* *Carottage non-traversant*	*Faible bullage* *D_{max} du béton : 14 mm* *Carottage non-traversant*
Cliché de la carotte		

10.1 RESULTATS DES ESSAIS MECANIQUES A LA COMPRESSION SIMPLE DU BETON

Des essais mécaniques de résistance à la compression simple du béton ont été effectués en laboratoire sur une partie des carottes en béton prélevées *in-situ* (cf. plan de localisation en ***Annexe 3***), conformément aux normes NF EN 12504-1. Après rectification de surface, les carottes ont fait l'objet d'un essai de résistance en compression à l'aide d'une presse à béton étalonnée. Ces essais ont été effectués par le laboratoire interne de Ginger CEBTP – Agence de Rennes.

Résultats des mécaniques de résistance à la compression simple du béton :

	Hauteur [mm]	Diamètre [mm]	Elancement	Poids [kg]	Masse volumique apparente [kg/m³]	Effort [kN]	Contrainte de rupture [MPa]	$f_{c,is}$ = K1*x K2** x $f_{c,h:Ø,carotte}$ [MPa]
C7	79	79	1.00	0.9078	2344	307.0	62.6	56.4
C8	79	79	1.00	0.9055	2338	262.0	53.5	48.2
C9	79	79	1.00	0.9012	2327	313.0	63.9	57.6
C10	79	79	1.00	0.8994	2323	352.0	71.8	45.6
C11	79	79	1.00	0.9036	2333	248.0	50.6	47.8
C12	79	79	1.00	0.8965	2315	260.0	53.0	57.9
C13	79	79	1.00	0.8998	2324	315.0	64.3	57.9
C14	79	79	1.00	0.8963	2315	315.0	64.3	48.5
C15	79	79	1.00	0.8950	2311	264.0	53.9	55.2
C16	79	79	1.00	0.8927	2305	300.0	61.2	64.7

Nota :

- *K1* : Coefficient de correction permettant de convertir la résistance d'une carotte de diamètre Ø pour se ramener à une carotte de base de 150 mm de diamètre,*
- *K2** : Coefficient de correction permettant de convertir la résistance d'une carotte d'élancement E pour se ramener à une carotte d'élancement 2.*

10.2 INTERPRETATION DES RESULTATS DES ESSAIS MECANIQUES A LA COMPRESSION SIMPLE DU BETON

L'interprétation des essais mécaniques de résistance en compression simple du béton a été opérée selon l'approche du paragraphe 8.1 de la norme NF EN 13791/CN d'Octobre 2021 relatif à « *Evaluation de la résistance à la compression sur site des structures et éléments préfabriqués en béton* », basé uniquement sur les essais sur carottes.

Les éléments suivants ont été retenus :

- La zone d'essai comprend un seul élément pour un volume de béton supérieur à 10 m^3, et peut ainsi être qualifiée de *« zone d'essai non petite »*,
- Les carottages ont été réalisés en diamètre Ø tel que : Ø > 75 mm.

Selon la norme NF EN 13791/CN d'Octobre 2021, il convient d'effectuer un « *un test statistique permettant de comparer les moyennes de deux groupes d'échantillons. Il permet de savoir si les moyennes des deux groupes sont significativement différentes du point de vue statistique* ». Pour ce faire, la norme NF EN 13791/CN d'Octobre 2021 préconise l'application du test de Student :

- Dans notre cas les valeurs obtenus ne sont pas différentes d'un point de vue statistique. L'ensemble des données doit être considéré comme étant associé à une seule zone d'essai.

De plus, la norme NF EN 13791/CN d'Octobre 2021 préconise de déterminer parmi les résultats obtenus, « *s'il s'agit de valeurs aberrantes d'un point de vue statistique* ».

« *Le test de Grubbs peut être utilisé pour déterminer les valeurs aberrantes d'un point de vue statistique à condition que les données présentent une distribution normale. Il convient que la valeur de test la plus élevée parmi n valeurs de test consécutives soit considérée comme une valeur aberrante lorsque :*

$$\frac{f_{c,is,la\ plus\ élevée} - f_{c,m(n)is}}{s} > G_p$$

Avec :

- $f_{c,is,la\ plus\ elevée}$ *: Valeur la plus élevée à la compression sur site dans un ensemble de « n » aires d'essais en MPa,*
- $f_{c,m(n)is}$ *: Résistance moyenne à la compression sur site d'un ensemble de « n » aires d'essais en MPa,*
- *s : Estimation de l'écart type global de la résistance à la compression sur site,*
- G_p *: Valeur critique selon le test de Grubbs.*

Les paramètres constants (définis au paragraphe 7.2 de la norme NF EN 13791/CN d'Octobre 2021 et valable dans le cadre de notre étude) pour la réalisation du test de Grubbs sont indiqués dans le tableau ci-dessous :

	N ***[-]***	***G_p*** ***[-]***
Paramètres constants pour la réalisation du test de Grubbs	10	2.482

Paramètres constants pour la réalisation du test de Grubbs

Les paramètres variables (définis au paragraphe 7.2 de la norme NF EN 13791/CN d'Octobre 2021 et valables dans le cadre de notre étude) pour la réalisation du test de Grubbs sont indiqués dans le tableau ci-dessous :

	$f_{c,is,la\ plus\ élevée}$ [MPa]	$f_{c,is,la\ plus\ faible}$ [MPa]	$f_{c,m(n)is}$ [MPa]	s [MPa]
Paramètres variables pour la réalisation du test de Grubbs	64.7	45.6	54.0	6.131

Paramètres variables pour la réalisation du test de Grubbs

Dans le cas présent, l'analyse statistique réalisé via l'application du test de Grubbs n'indique pas de valeur aberrante parmi les résultats d'essais obtenus. L'ensemble des valeurs de résistance à la compression simple du béton sont donc admissibles à l'interprétation.

La résistance caractéristique à la compression sur site est estimée à partir de la plus faible des valeurs suivantes :

$$f_{ck,is} = f_{c,m(n)is} - k_n \times s \quad \text{Ou} \quad f_{ck,is} = f_{c,is\ la\ plus\ faible} + M$$

Avec :

- $f_{ck,is}$ *: Résistance caractéristique à la compression sur site en MPa,*
- $f_{c,m(n)is}$ *: Résistance moyenne à la compression sur site d'un ensemble de « n » aires d'essais en MPa,*
- $f_{c,is,\ la\ plus\ faible}$ *: Valeur la plus faible à la compression sur site dans un ensemble de « n » aires d'essais en MPa,*
- k_n *: Facteur de fractile caractéristique,*
- *M : Valeur de la marge en MPa.*

	M [MPa]	K_n [-]	$f_{ck,is}$ [MPa]
Estimation de la résistance caractéristique	4	1.92	42.2

Estimation de la résistance caractéristique

La norme NF EN 13791/CN d'Octobre 2021 permet d'évaluer la résistance caractéristique du béton pour le calcul de la manière suivante :

$$f_{ck} = f_{ck,is} / 0.85$$

La résistance caractéristique du béton pour le calcul figure dans le tableau suivant :

	Resistance caractéristique estimée f_{ck}
Fût	49.6 MPa

Résistance caractéristique estimée du fût investigué

10.3 DOSAGES EN IONS SULFATES

Les dosages en ions sulfates obtenus suivant les protocoles internes Ginger CEBTP sont présentés dans le tableau suivant :

N° échantillon		Teneur en silice (%)	Teneur en ciment (%)	Teneur en ions sulfates (% masse béton)	Teneur en ions sulfates (% masse ciment)
Béton C1 Zone de diagnostic N°1 Zone visuellement altérée Parement extérieur du fût	Tranche 0-1 cm	4,55	19,8	0,70	**3,54**
	Tranche 6-7 cm	4,76	20,7	0,64	**3,09**
	Tranche 11-12 cm	5,09	22,1	0,95	**4,29**
Béton C6 Zone de diagnostic N°3 Zone visuellement altérée Parement intérieur en tête de fût	Tranche 0-1 cm	2,16	8,3	0,47	**5,66**
	Tranche 12.5-13.5 cm	3,61	13,9	0,51	**3,67**
	Tranche 13.5-14.5 cm	3,66	14,1	0,54	**3,84**

Commentaires :

- *Selon la norme EN 197-1, la teneur en ions sulfates exprimée en % de SO_3 rapportée à la masse de ciment, ne doit pas dépasser la valeur de 3.5 % ou 4 % par rapport à la masse de ciment, suivant la classe de résistance du ciment. Notons que la valeur exprimée tient compte du type de liant hydraulique et de sa classe de résistance (ciment de type CEM I ou CEM II ou CEM III selon le tableau présent au paragraphe ci-dessous).*

Teneur en sulfate (SO_3)	EN 196-2	CEM I CEM II [c)] CEM IV CEM V	32,5 N 32,5 R 42,5 N	≤ 3,5 %
			42,5 R 52,5 N 52,5 R	≤ 4,0 %
		CEM III [d)]	toutes classes	

Extrait de la norme NF EN 197-1 d'Avril 2012

En l'absence d'information complémentaire sur le type de ciment utilisé, la valeur seuil la plus péjorative, soit 3.5%, sera retenue.

Dans le cas présent, les tranches de béton C1 (0-1 cm), C1 (11-12 cm), C6 (0-1 cm), C6 (12.5-13.5 cm) et C6 (13.5-14.5 cm) présentent des teneurs en ions sulfates supérieures au seuil des 3.5 % par rapport à la masse de ciment.

Notons qu'il s'agit d'une approche conservatrice, puisque la norme EN 197-1 concerne uniquement les ciments. La teneur en ions sulfate d'un béton (qui comprend du ciment mais également des granulats, du sable, de l'eau et des additions…) par rapport à la masse de ciment est généralement plus élevée que les seuils indiqués par la norme EN 197-1. Toutefois, aucun texte réglementaire ne fait référence à une teneur en ions sulfates maximale admissible dans un béton. C'est pourquoi, par consensus, les seuils de la norme EN 197-1 ont été utilisés.

10.4 MESURES DE LA MASSE VOLUMIQUE APPARENTE ET POROSITE ACCESSIBLE A L'EAU

Les résultats des mesures de la masse volumique apparente et de la porosité accessible à l'eau sont présentés dans le tableau suivant :

	Masse volumique apparente (kg/m^3)	Porosité accessible à l'eau (% volume de vides)
Béton C2 Zone de diagnostic N°1 Zone visuellement altérée Parement extérieur du fût	2 140	17.4
Béton C5 Zone de diagnostic N°3 Zone visuellement altérée Parement intérieur en tête de fût	2 180	16.8

Commentaires :

- *La masse volumique apparente est comprise entre 2 000 et 2 600 kg/m^3 qui est l'intervalle des valeurs communément admis pour un **béton de masse volumique normale** selon la norme NF EN 206+A2/CN de Novembre 2022. Cette information est donnée à titre indicatif, le nombre d'essais réalisés est inférieur à ce que demande la norme,*
- *La porosité accessible à l'eau, selon le guide de l'Association Française de Génie Civil « Conception des bétons pour une durée de vie données des ouvrages – Maîtrise de la durabilité vis-à-vis de la corrosion des armatures et l'alcali-réaction » de Juillet 2004, est associée à **une durabilité potentielle du béton qualifiée de très faible.** Cette information est donnée à titre indicatif, le nombre d'essais réalisés est inférieur à ce que demande le guide.*

11 ESSAIS D'ARRACHEMENT DE MESURE DE L'ADHERENCE DU REVETEMENT ET DE LA COHESION SUPERFICIELLE DU MATERIAU SUPPORT (BETON)

11.1 PRINCIPE DE L'ESSAI

Le mode opératoire est le suivant :

- Le support est scié selon une forme carrée de côté 5 cm x 5 cm,
- Les pastilles sont nettoyées puis encollées sur la surface à tester. La colle (époxydique bi-composant) ne doit pas pénétrer dans les entailles produites par la scie circulaire,
- Après séchage de la colle, l'appareil d'essai applique un effort de traction perpendiculaire jusqu'à la rupture. La charge et le type de rupture sont notés.

On distingue deux types de rupture :

- **La rupture cohésive :** La fracture se propage *à l'intérieur d'un matériau*, et non à l'interface de deux matériaux. Ce type de rupture indique que l'adhésion entre les matériaux est plus résistante que l'une des cohésions d'un des matériaux.
- **La rupture adhésive :** La fracture entre les deux matériaux à lieu *à l'interface* entre ceux-ci. Ce type de rupture indique que l'adhésion entre les matériaux à une résistance à la traction plus faible que leur cohésion.

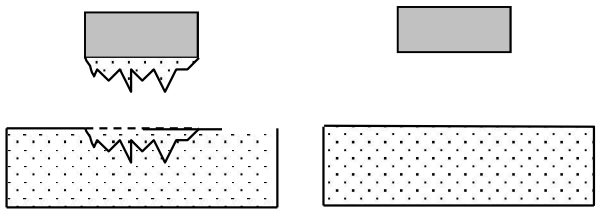


Schéma d'une rupture cohésive (à gauche) et d'une rupture adhésive (à droite).

11.2 RESULTATS DES ESSAIS

Les essais ont été répartis sur la cuve en béton armé, au niveau du parement intérieur. L'implantation des essais au sein de l'***Annexe 3.***
Une planche photographique illustrant les résultats des essais est présente en ***Annexe 6.***

11.2.1 MESURE DE L'ADHERENCE DU REVETEMENT D'ETANCHEITE

Les résultats des essais sont reportés dans le tableau ci-dessous :

N° d'essai	Résultat de l'essai d'arrachement de mesure de l'adhérence du revêtement [daN]	Section testée [mm x mm]	Contrainte [MPa]	Type de rupture
A1	229	54 x 54	**0.8**	100% cohésive dans le revêtement
A2	432	52 x 52	**1.6**	100% adhésive à l'interface colle époxy/revêtement
A3	573	51 x 50	**2.2**	100% cohésive dans le revêtement
A4	369	57 x 52	**1.2**	100% cohésive en peau du béton
A5	202	53 x 52	**0.7**	100% cohésive dans le revêtement

Commentaires :

Les essais réalisés présentent un mode de rupture majoritairement cohésif dans le revêtement, pour une contrainte de rupture moyenne calculée à ***1.3 MPa, comprise entre 0.7 et 2.2 MPa (écart type de 0.6 MPa).***
La valeur de conformité du béton vis-à-vis de l'adhérence minimale à atteindre pour les supports en béton avant l'application d'un revêtement (conformément au paragraphe 7.1.2.2 du Fascicule 74) est de 1.0 MPa.
Les valeurs obtenues pour les essais d'adhérence du revêtement du béton sont en moyenne supérieure à cette valeur de conformité.
Les valeurs obtenues pour les essais d'adhérence du revêtement du béton sont localement inférieures à cette valeur de conformité.

11.2.2 MESURE DE LA COHESION SUPERFICIELLE DU BETON

Les résultats des essais sont reportés dans le tableau ci-dessous :

N° d'essai	Résultat de l'essai d'arrachement de mesure de la cohésion superficielle [daN]	Section testée [mm x mm]	Contrainte [MPa]	Type de rupture
A6	369	52 x 52	**1.4**	100% cohésive en peau du béton
A7	810	52 x 52	**3.0**	100% cohésive en peau du béton
A8	742	51 x 50	**2.9**	100% cohésive en peau du béton
A9	465	54 x 54	**1.6**	60% cohésive en peau du béton 40% adhésive à l'interface colle époxy/béton
A10	244	56 x 51	**0.9**	75% adhésive à l'interface colle époxy/béton 25% cohésive en peau du béton

Commentaires :

Les essais réalisés présentent un mode de rupture majoritairement cohésif en peau du béton, pour une contrainte de rupture moyenne calculée à ***1.9 MPa, comprise entre 0.9 et 3.0 MPa (écart type de 1.0 MPa).***
La valeur de conformité du béton vis-à-vis de cohésion superficielle minimale à atteindre pour les supports en béton avant l'application d'un revêtement (conformément au paragraphe 7.1.2.2 du Fascicule 74) est de 1.0 MPa.
Les valeurs obtenues pour les essais de cohésion superficielle du béton sont en moyenne supérieure à cette valeur de conformité.
Les valeurs obtenues pour les essais de cohésion superficielle du béton sont localement inférieures à cette valeur de conformité.

12 SYNTHESE DES RESULTATS DU DIAGNOSTIC PATHOLOGIQUE ORIENTE CORROSION DES ARMATURES ET POLLUTION DES BETONS

Les résultats de la mission de Diagnostic Pathologique orientée « Corrosion des armatures » du Château d'eau Morillot de la Base Navale située à Brest (56) sont synthétisés dans le tableau suivant et sont également commentés.

12.1 DIAGNOSTIC DE L'ETAT ELECTROCHIMIQUE DES ARMATURES

		Zone de diagnostic N°1 Zone visuellement altérée Parement extérieur du fût	Zone de diagnostic N°2 Zone visuellement saine Parement extérieur de la cuve	Zone de diagnostic N°3 Zone visuellement altérée Parement intérieure en tête de fût
Inspection visuelle		Zone visuellement altérée	Zone visuellement saine	Zone visuellement altérée
Détection et mesure de l'enrobage des armatures verticales (mm)	**Minimum**	52 mm	49 mm	131 mm
	Moyen	63 mm	53 mm	145 mm
Détection et mesure de l'enrobage des armatures horizontales (mm)	**Minimum**	69 mm	56 mm	121 mm
	Moyen	79 mm	63 mm	133 mm
Sondages destructifs		Légère oxydation sans perte de diamètre ou piqûration	Légère oxydation sans perte de diamètre ou piqûration	Visuellement saines
Mesure *in-situ* du front de carbonatation de la pâte de ciment du béton (mm)		SD1 : < 1 mm SD2 : 2 mm	SD1 : < 1 mm	SD1 : < 1 mm
Dosage en ions chlorures libres (% masse ciment)		Tranche 0-1 cm : 0.04 Tranche 6-7 cm : 0.02 Tranche 11-12 cm : 0.02	*En raison des intempéries (vents forts), il n'a pas été réalisé de carottages au sein de cette zone de diagnostic. Par corrélation avec la zone effectuée en pied de fût, il est pris l'hypothèse d'une absence de pollution par les ions chlorures libres et les ions chlorures totaux.*	Tranche 0-1 cm : 0.07 Tranche 12.5-13.5 cm : 0.04 Tranche 13.5-14.5 cm : 0.05
Dosage en ions chlorures totaux (% masse ciment)		Tranche 0-1 cm : 0.10 Tranche 6-7 cm : 0.02 Tranche 11-12 cm : 0.02		Tranche 0-1 cm : 0.07 Tranche 12.5-13.5 cm : 0.05 Tranche 13.5-14.5 cm : 0.10
Mesure du potentiel d'électrode (potentiel de corrosion) des armatures	**RILEM TC 154-EMC**	La totalité des valeurs obtenues sont inférieures à la plage de valeurs typiques attendues pour un « Béton sec »	La totalité des valeurs obtenues sont inférieures à la plage de valeurs typiques attendues pour un « Béton sec »	Une majorité des valeurs obtenues sont comprises dans la plage de valeurs typiques attendues pour un « Béton sec »
		Activité de corrosion : Passive à 92% Incertaine 8%	Activité de corrosion : Passive à 99% Incertaine à 1%	Activité de corrosion : Passive à 100%
	COST 509	Risque de corrosion localisée : Incertain SD2 : Légère oxydation sans perte de diamètre ou piqûration	Risque de corrosion localisée : Faible	Risque de corrosion localisée : Faible

Commentaires :

L'implantation des zones de diagnostic a été réalisé suite à l'observation de l'absence de désordres liés à la corrosion en partie courante des différents éléments lors de la phase d'inspection.

Compte-tenu des résultats précédents, les investigations réalisées au droit des zones de diagnostic réalisées ont mis en évidence :

- *Une absence de pollution du béton par les ions chlorures totaux (teneurs inférieures à la valeur de conformité telle que définie précédemment) en peau, à l'enrobage et à cœur du béton pour l'ensemble des zones,*
- *Une absence de pollution du béton par les ions chlorures libres (teneurs inférieures au seuil considéré comme critiques pour dépassiver les armatures et amorcer le phénomène de corrosion des armatures) en peau, à l'enrobage des armatures et à cœur du béton,*
- *La présence d'un front de carbonatation de la pâte de ciment des bétons n'ayant pas atteint les armatures,*
- *Un enrobage jugé **suffisant** au regard de l'Eurocode 2, qui impose une valeur nominale d'enrobage de 40 mm pour un ouvrage de classe structurale S5 et d'environnement d'exposition XS1,*
- *Des armatures présentant un état de corrosion allant de visuellement saine à légèrement oxydées sans perte de diamètre ou piqûration,*
- ***Des mesures du potentiel d'électrode (potentiel de corrosion) des armatures mettant en évidence une absence d'activité de corrosion.***

12.2 DOSAGES EN IONS SULFATES

Les dosages en ions sulfates obtenus suivant les protocoles internes Ginger CEBTP sont présentés dans le tableau suivant :

N° échantillon		Teneur en silice (%)	Teneur en ciment (%)	Teneur en ions sulfates (% masse béton)	Teneur en ions sulfates (% masse ciment)
Béton C1 Zone de diagnostic N°1 Zone visuellement altérée Parement extérieur du fût	Tranche 0-1 cm	4,55	19,8	0,70	**3,54**
	Tranche 6-7 cm	4,76	20,7	0,64	**3,09**
	Tranche 11-12 cm	5,09	22,1	0,95	**4,29**
Béton C6 Zone de diagnostic N°3 Zone visuellement altérée Parement intérieur en tête de fût	Tranche 0-1 cm	2,16	8,3	0,47	**5,66**
	Tranche 12.5-13.5 cm	3,61	13,9	0,51	**3,67**
	Tranche 13.5-14.5 cm	3,66	14,1	0,54	**3,84**

Commentaires :

- *Selon la norme EN 197-1, la teneur en ions sulfates exprimée en % de SO_3 rapportée à la masse de ciment, ne doit pas dépasser la valeur de 3.5 % ou 4 % par rapport à la masse de ciment, suivant la classe de résistance du ciment. Notons que la valeur exprimée tient compte du type de liant hydraulique et de sa classe de résistance (ciment de type CEM I ou CEM II ou CEM III selon le tableau présent au paragraphe ci-dessous).*

Teneur en sulfate (SO_3)	EN 196-2	CEM I CEM II [c)] CEM IV CEM V	32,5 N 32,5 R 42,5 N	≤ 3,5 %
			42,5 R 52,5 N 52,5 R	≤ 4,0 %
		CEM III [d)]	toutes classes	

En l'absence d'information complémentaire sur le type de ciment utilisé, la valeur seuil la plus péjorative, soit 3.5%, sera retenue.

Dans le cas présent, les tranches de béton C1 (0-1 cm), C1 (11-12 cm), C6 (0-1 cm), C6 (12.5-13.5 cm) et C6 (13.5-14.5 cm) présentent des teneurs en ions sulfates supérieures au seuil des 3.5 % par rapport à la masse de ciment.
Notons qu'il s'agit d'une approche conservatrice, puisque la norme EN 197-1 concerne uniquement les ciments. La teneur en ions sulfate d'un béton (qui comprend du ciment mais également des granulats, du sable, de l'eau et des additions…) par rapport à la masse de ciment est généralement plus élevée que les seuils indiqués par la norme EN 197-1. Toutefois, aucun texte réglementaire ne fait référence à une teneur en ions sulfates maximale admissible dans un béton. C'est pourquoi, par consensus, les seuils de la norme EN 197-1 ont été utilisés.

13 AVIS SUR L'ETAT GENERAL DE L'OUVRAGE

Le Château d'eau Morillot de la Base Navale située à Brest (29) :

- Ne présente pas de désordres structurels remettant en cause leur stabilité à moyen terme. L'inspection réalisée indique la présence :
  - D'une fissure traversante,
  - Des fissures avec des traces de calcites,
  - Des éclats de bétons avec aciers apparents corrodés.
- Tandis que la mission de Diagnostic Pathologique orienté « Corrosion des armatures » a mis en évidence :
  - L'absence pollution par les ions chlorures libres,
  - L'absence pollution par les ions chlorures totaux,
  - Un front de carbonatation n'ayant pas dépassé l'enrobage des armatures,
  - **L'absence de corrosion au droit des zones investiguées**.

Zone de diagnostic	Corrosion avérée	Risque de corrosion latent	Absence de risque de corrosion
N°1			X
N°2			X
N°3			X

14 ORIENTATIONS TECHNIQUES DE TRAVAUX DE REHABILITATION / REPARATION / REGENERATION ADAPTES AUX DESORDRES ET A LEURS ORIGINES PROBABLES AU STADE « DIAGNOSTIC »

Les conclusions de la présente mission de Diagnostic Pathologique orientée corrosion des armatures et pollution des bétons du Château d'eau Morillot de la Base Navale de Brest conduisent aux préconisations d'investigations complémentaires et aux orientations techniques de travaux de réhabilitation / réparation / régénération des bétons suivantes.

14.1 PRECONISATIONS D'INVESTIGATIONS COMPLEMENTAIRES

Tel qu'évoqué en conclusion du ***Paragraphe 8.2***, il est préconisé de réaliser une instrumentation de la fissure traversante observable au niveau du fût de l'ouvrage. L'objectif est de caractériser l'activité de cette fissure afin de pouvoir être en mesure de déterminer les travaux de réhabilitation / régénération / réparation des bétons armés les plus adaptés.

14.2 ORIENTATIONS TECHNIQUES DE TRAVAUX DE REHABILITATION / REPARATION / REGENERATION : STRATEGIE DE REPARATION DITE « CLASSIQUE »

Le présent paragraphe se base sur :

- La série de normes NF EN 1504-1 à NF EN 1504-10 « *Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton - Définitions, exigences, prescriptions, maîtrise de la qualité et évaluation de la conformité* » qui définit 11 grands principes de traitement qui visent à augmenter la durabilité du béton et à pérenniser les structures en béton armé,
- Le Fascicule 74 concernant la réhabilitation des ouvrages du Génie Civil de l'Eau.

Les travaux de réhabilitation / réparation / régénération des bétons armés préconisés au sein des stratégies de réparation dite « Classique » ont une durée de vie estimée entre 10 et 15 ans. Ces délais sont valables sous réserve d'un entretien courant et périodique de l'ouvrage.

Nota : *En raison du bon état général, de l'absence de pollution des bétons et de l'absence de risque de corrosion, seule une stratégie de réparation dite « classique » est présentée en sein de ce rapport.*

➢ TRAITEMENT DES FISSURES

➢ *Calfeutrement des fissures :*

Après préparation du support, les fissures d'ouverture inférieure à 0,3 mm seront calfeutrées à l'aide d'une résine ou mortier adapté.
La technique de traitement de fissures actives ou non par calfeutrement consiste à colmater en profondeur les fissures par un produit plus ou moins souple (mastic ou mortier) pour rétablir une étanchéité à l'air ou à l'eau ou pour empêcher la pénétration de matières solides qui risqueraient de bloquer le mouvement des fissures. **Il s'applique donc aux fissures qui ne mettent pas en jeu la résistance de la structure et pouvant être qualifiée de « non structurelle** ».

➢ *Injection des fissures*

L'injection des fissures doit être réalisée pour toute fissure d'ouverture supérieure à 0,3 mm et/ou liée à un défaut structurel. Ce type de traitement est particulièrement adapté au niveau de des reprises de bétonnage.
Dans ce cadre, elles seront traitées et injectées au coulis de ciment (l'usage de résine pourra également être envisagé). Les matériaux utilisés devront être compatibles avec les potentiels revêtements de protection utilisés.

➢ SONNAGE, PURGE DES ECLATS DE BETON

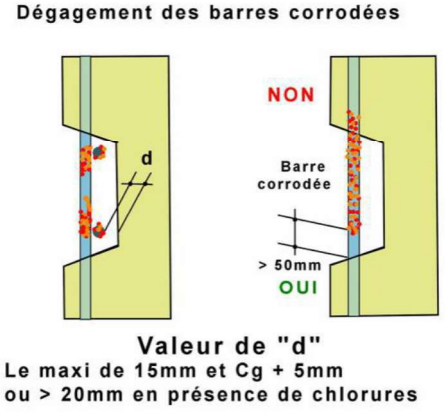
Il conviendra de réaliser le sonnage au marteau et le marquage de l'ensemble des zones visuellement non-adhérentes, dégradées ou sonnant le creux (nids de cailloux, amorces d'éclats de béton, …).

Le repérage et le marquage de l'ensemble des zones présentant des coulures de produits d'oxydation, et ayant fait l'objet d'anciennes réparations (ragréages) devra également être réalisé.

Les zones précédemment identifiées devront être purgées par piquage manuel de manière à détourer les armatures jusqu'à au moins 2 cm au-delà de celles-ci.

➢ TRAITEMENT DES ARMATURES DEGAGEES

Toutes les armatures mises à nu par la purge des épaisseurs de béton doivent être traitées de façon adaptée. Aucun produit de corrosion ni aucun feuillet de calamine ne doit subsister sur les armatures dérouillées. Ce traitement devra suivre les recommandations de la norme NF P95-101, comme décrit sur le schéma ci-dessous.



Les produits de corrosion (rouille) et les feuillets de calamine seront éliminés par brossage métallique, repiquage, sablage ou grenaillage en complément. Les armatures doivent être traitées sur toute leur périphérie et jusqu'à l'obtention d'un acier visuellement sain.

Les résidus des produits de corrosion (rouille) et des feuillets de calamine éliminés devront être nettoyés et intégralement retirés des zones traitées (aspiration, soufflage, rinçage…).
Les armatures trop corrodées (ayant perdu plus de 10 % de leur section initiale) devront être remplacées selon les longueurs d'ancrage, les longueurs de recouvrement et selon la règle des coutures.

➢ **RAGREAGE AU BETON DES ZONES PURGEES**

Les épaisseurs de béton manquantes ou qui ont été purgées doivent être reconstituées, **cette opération pourra être effectuée par ragréage manuel.**

La reconstitution des sections de béton devra assurée aux armatures un enrobage réglementaire vis-à-vis du cadre normatif en vigueur et selon la classe structurale souhaitée de l'ouvrage.

➢ **PROTECTION DES BETONS PAR LA MISE EN ŒUVRE DE REVETEMENTS**

De manière à protéger les bétons de l'environnement extérieur, il conviendra de mettre en œuvre des revêtements adaptés à l'élément concerné ainsi qu'à son exposition, à savoir :

- Un revêtement d'imperméabilisation de type LHM adapté à l'environnement d'exposition afin de limiter la pénétration d'agents polluants extérieurs pour les parements intérieurs du fût,
- Un revêtement d'étanchéité de type ACS au sein de la cuve, en remplacement du revêtement actuel,
- La mise en place d'un revêtement d'étanchéité en surface de la dalle de couverture est à prévoir pour protéger les bétons.

  Notons que pour le revêtement du parement extérieur qui est en bon état général, une réfection en totalité n'est pas nécessaire. Une reprise ponctuelle au niveau des différents désordres présentés au sein de ce rapport est suffisante.

15 CONCLUSION

15.1 INSPECTION VISUELLE

Le Château d'eau Morillot (N°G2D : 290019515T0023) situé sur le site de la Base Navale de Brest (29) ne présente pas de désordre structurel remettant en cause sa stabilité à court terme.

Cependant, la présence d'une fissure traversante au niveau du fût pourrait être due à des mouvement structurels non stabilisés ou des surcharges.
Ces défauts pourraient constituer à moyen terme, une insuffisance structurelle et remettre en cause la stabilité de l'ouvrage.

L'Indice d'Etat Mécanique de l'ouvrage est **IEm 3**, il est principalement justifié par le désordre de type fissure traversante.

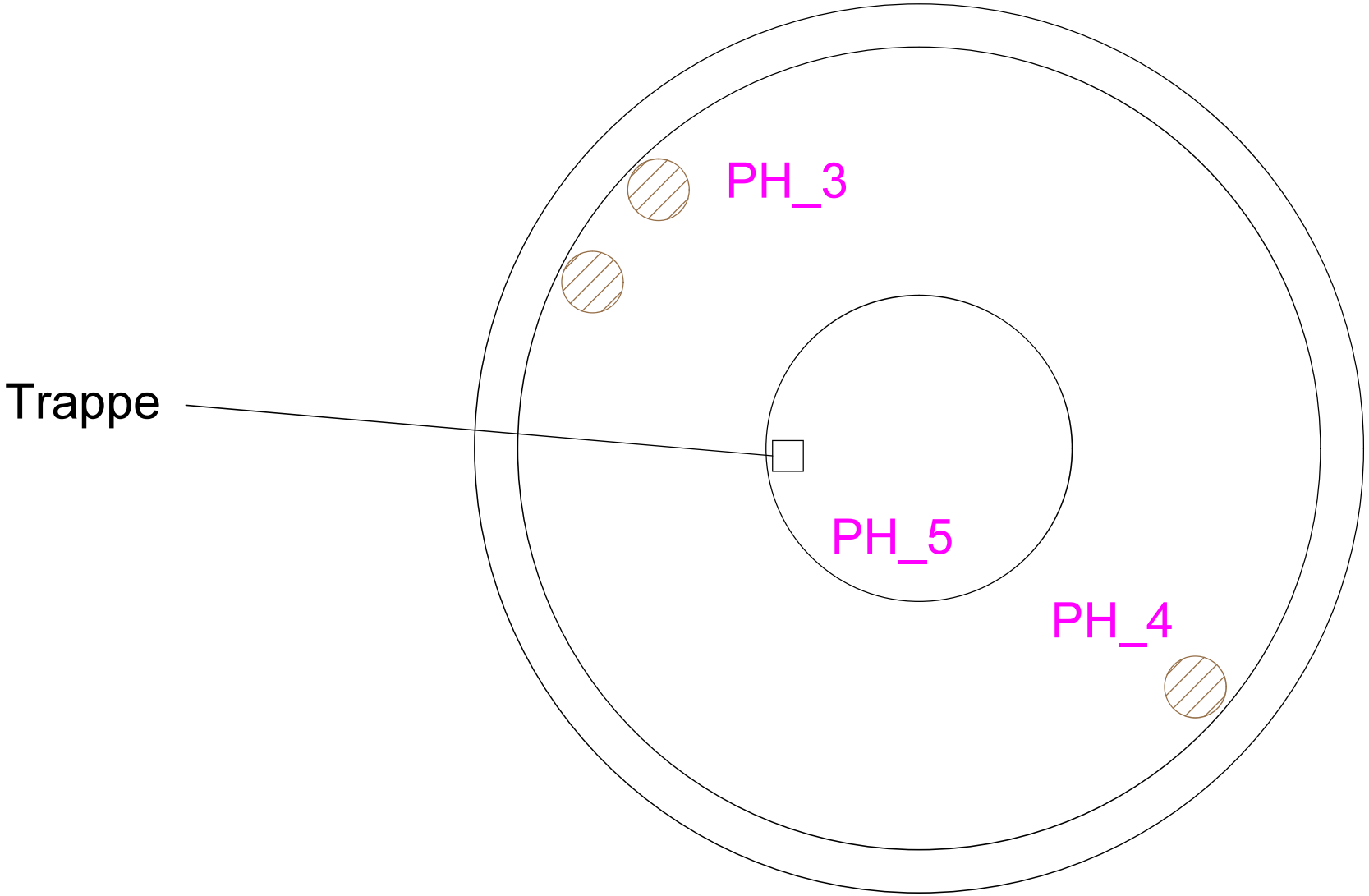
L'Indice d'Etat d'Usage de l'ouvrage est **IEu 2** dû aux désordres mineurs, mais nécessitant un entretien spécialisé afin de garantir la pérennité de l'ouvrage.

15.2 DIAGNOSTIC PATHOLOGIQUE ORIENTE CORROSION DES ARMATURES ET POLLUTION DES BETON

Le Diagnostic Pathologique orienté corrosion des armatures et pollution des bétons à mis en évidence l'absence de corrosion au niveau de l'ouvrage.

Au niveau des orientations techniques de travaux de réhabilitation / réparation / régénération adaptés aux désordres et à leurs origines probables au stade « Diagnostic », il est proposé une stratégie de réparation dite « Classique », estimée entre 210k€ HT et 230k€ HT.

ANNEXE 1 : PLANS DE LOCALISATION DES DESORDRES



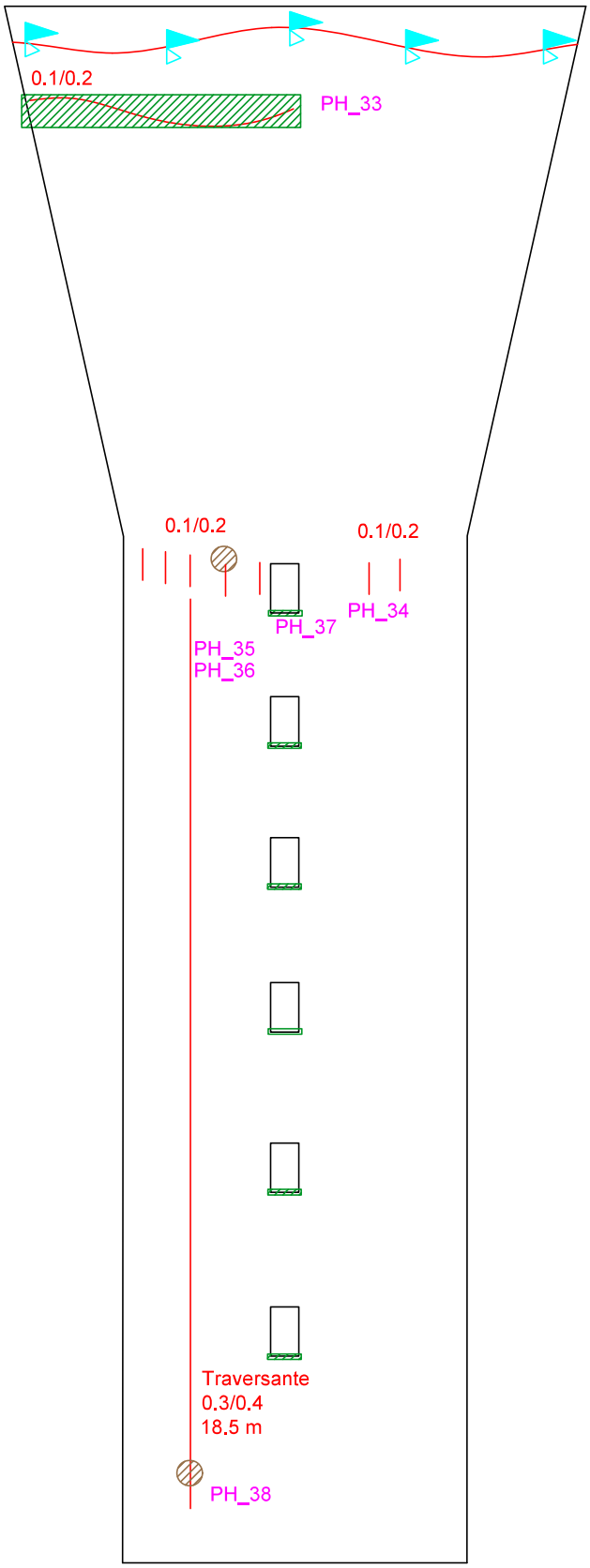
Relevé de désordres
Surface coupole

Agence de Rennes
2, rue de l'Eglantier
35520 LA MEZIERE
02.99.27.51.10
GINGER CEBTP

Ouvrage : Chateau d'eau Morillot	Vue : Plan
Date : 10/07/2026	Echelle : *S.O.*
Dossier : ORE3.O.3001-12	Version : A
Dessinateur : G.LEMARCHAND	Page : 1/4

Légende :

- : Réparations
- : Altération du revêtement
- PH_X : Photographie
- : Calcite
- 0.X : Fissures
- : Développement biologique
- : Armatures apparentes corrodés
- : Traces de rouilles
- : Coulûre noirâtre



Légende

: Réparations

: Altération du revêtement

PH_X : Photographie

: Développement biologique

: Armatures apparentes corrodés

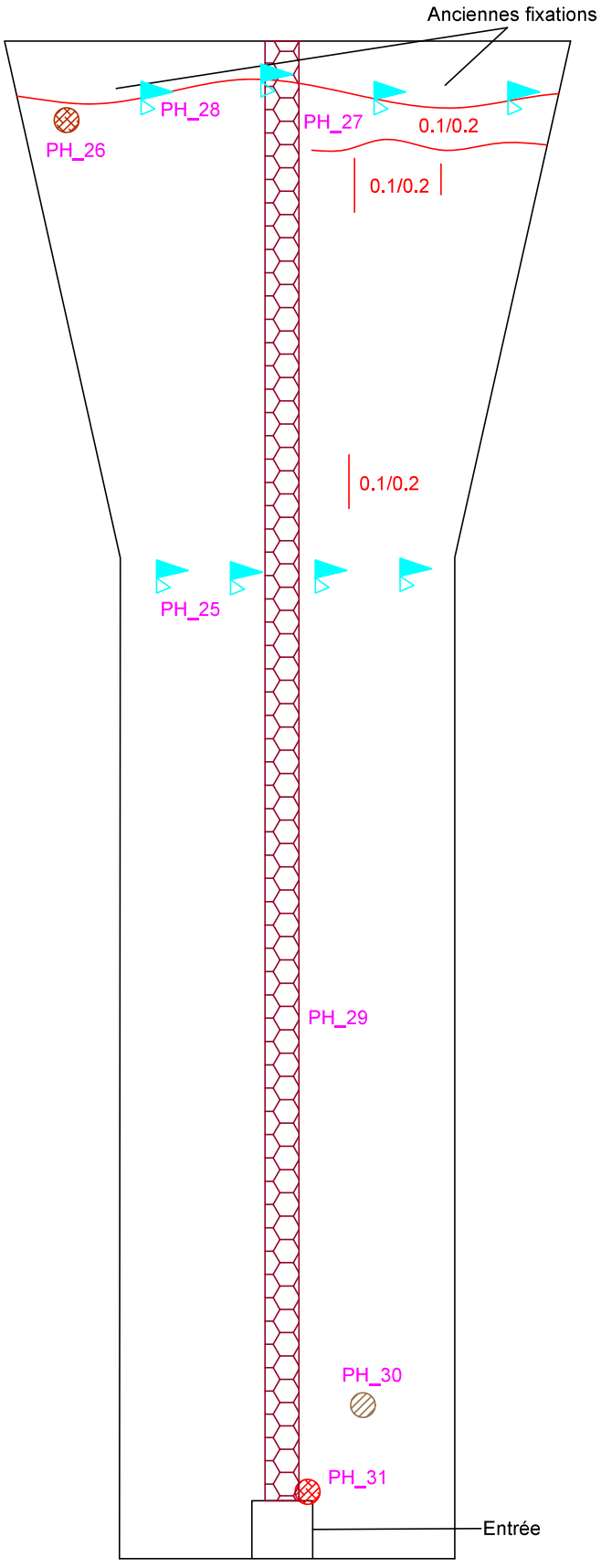
: Traces de rouilles

: Calcite

0.X : Fissures

: Coulûre noirâtre

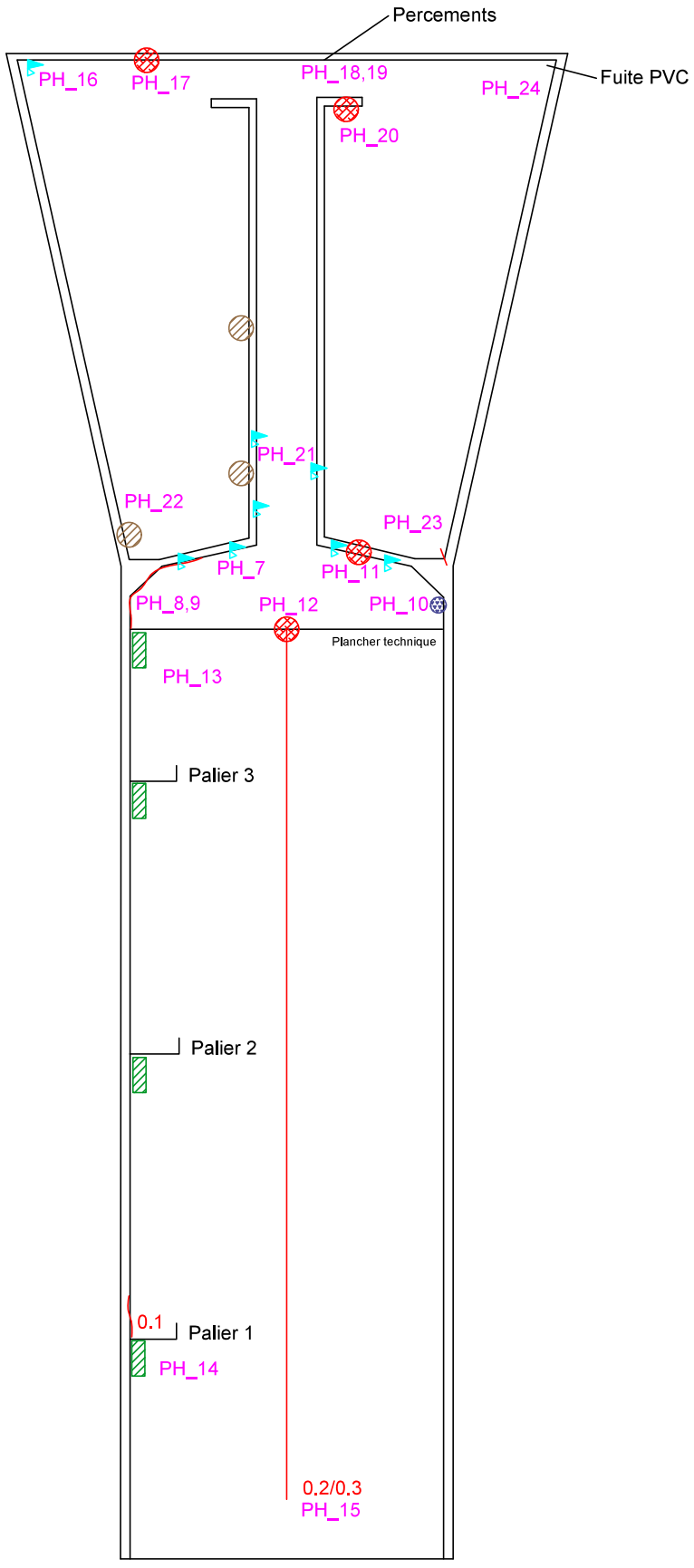
Relevé de désordres Extérieur - Face Sud	Ouvrage : Chateau d'eau Morillot	Vue : Elevation
	Date : 10/07/2027	Echelle : *S.O.*
Agence de Rennes 2, rue de l'Eglantier 35520 LA MEZIERE 02.99.27.51.10 GINGER CEBTP	Dossier : ORE3.O.3001-12	Version : A
	Dessinateur : G.LEMARCHAND	Page : 2/4



Légende

: Réparations
: Altération du revêtement
PH_X : Photographie
: Développement biologique
: Armatures apparentes corrodés
: Traces de rouilles
: Calcite
0.X : Fissures
: Coulûre noirâtre

Relevé de désordres Extérieur - Face Nord	Ouvrage : Chateau d'eau Morillot	Vue : Elevation
	Date : 10/07/2027	Echelle : *S.O.*
Agence de Rennes 2, rue de l'Eglantier 35520 LA MEZIERE 02.99.27.51.10 GINGER CEBTP	Dossier : ORE3.O.3001-12	Version : A
	Dessinateur : G.LEMARCHAND	Page : 3/4



Légende

- : Réparations
- : Altération du revêtement
- PH_X : Photographie
- : Développement biologique
- : Armatures apparentes corrodés
- : Traces de rouilles
- : Calcite
- 0.X : Fissures
- : Coulûre noirâtre

Relevé de désordres Intérieur	Ouvrage : Chateau d'eau Morillot	Vue : Coupe
	Date : 10/07/2027	Echelle : *S.O.*
Agence de Rennes 2, rue de l'Eglantier 35520 LA MEZIERE 02.99.27.51.10 GINGER CEBTP	Dossier : ORE3.O.3001-12	Version : A
	Dessinateur : G.LEMARCHAND	Page : 4/4

ANNEXE 2 : REPORTAGE PHOTOGRAPHIQUE

PH_2.jpg

PH_4.jpg

PH_1.jpg

PH_3.jpg



PH_5.jpg



PH_6.jpg



PH_7.jpg



PH_8.jpg



PH_9.jpg



PH_10.jpg



PH_11.jpg



PH_12.jpg



PH_13.jpg



PH_14.jpg



PH_15.jpg



PH_16.jpg



PH_17.jpg



PH_18.jpg



PH_19.jpg



PH_20.jpg



PH_21.jpg



PH_22.jpg



PH_23.jpg



PH_24.jpg



PH_25.jpg



PH_26.jpg



PH_27.jpg



PH_28.jpg



PH_29.jpg



PH_30.jpg



PH_31.jpg



PH_32.jpg



PH_33.jpg



PH_34.jpg



PH_35.jpg



PH_36.jpg



PH_37.jpg

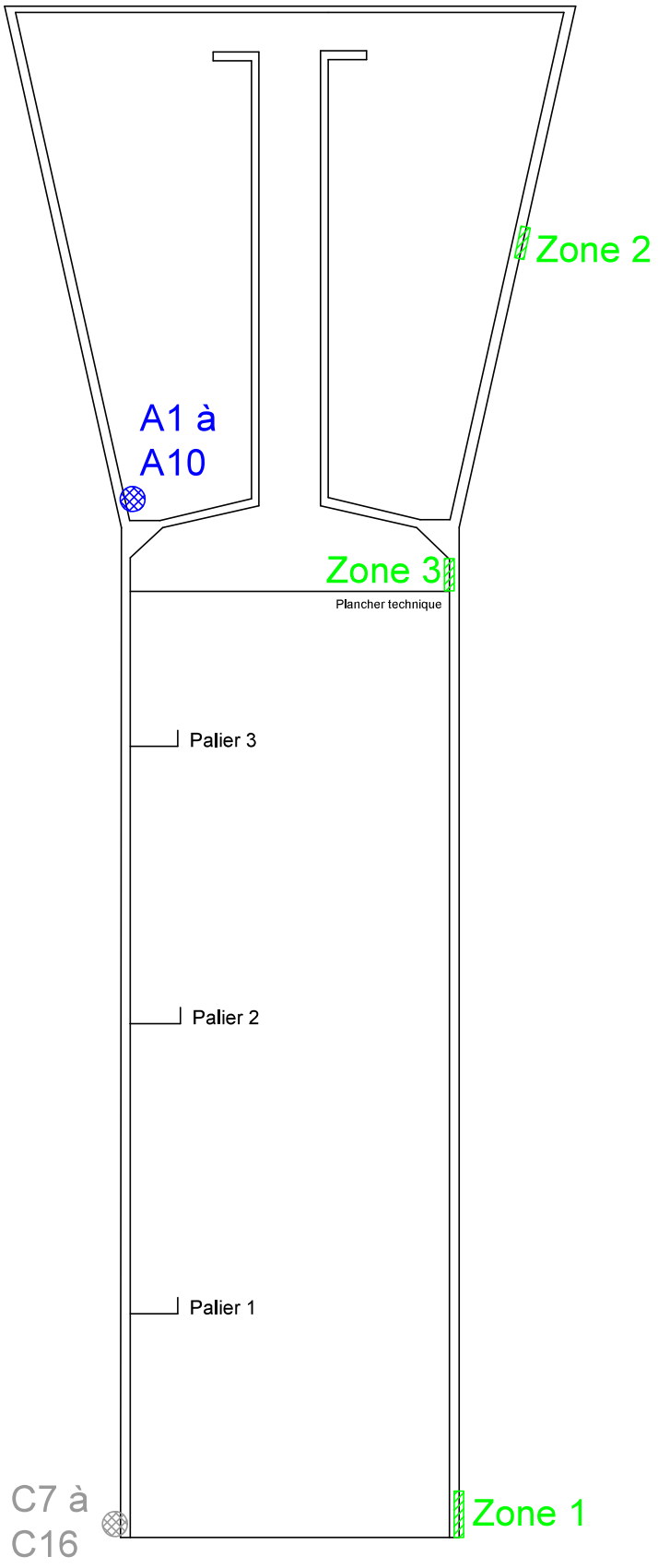


PH_38.jpg



PH_39.jpg

ANNEXE 3 : IMPLANTATION DES INVESTIGATIONS



Légende

: Zone de diagnostic

: Carottages

: Essais d'arrachement

Implantation des investigations	Ouvrage : Chateau d'eau Morillot	Vue : Coupe
	Date : 24/07/2027	Echelle : *S.O.*
Agence de Rennes 2, rue de l'Eglantier 35520 LA MEZIERE 02.99.27.51.10 GINGER CEBTP	Dossier : ORE3.O.3001-12	Version : A
	Dessinateur : G.LEMARCHAND	Page : 1/1

ANNEXE 4 : TRAITEMENT STATISTIQUE DES MESURES DE DETECTION DES ARMATURES

Armatures	Horizontales		
Nuance	RL	Diamètre	8 mm
Nombre de détections d'armature			30
Enrobage (mm)			
Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
69	94	79	5
Espacement (cm)			
Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
14.8	17.4	15.9	0.6

Armatures	Verticales		
Nuance	RL	Diamètre	12 mm
Nombre de détections d'armature			40
Enrobage (mm)			
Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
52	73	63	5
Espacement (cm)			
Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
13.0	19.0	16.4	1.4

ZONE 1

Armatures	Horizontales		
Nuance	RL	Diamètre	16 mm
Nombre de détections d'armature			19
Enrobage (mm)			
Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
56	71	63	5
Espacement (cm)			
Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
8.2	9.8	9.0	0.5

Armatures	Verticales		
Nuance	RL	Diamètre	8 mm
Nombre de détections d'armature			19
Enrobage (mm)			
Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
49	62	53	4
Espacement (cm)			
Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
5.4	13.0	10.4	2.7

ZONE 2

Armatures	Horizontales		
Nuance	RL	Diamètre	6 mm
Nombre de détections d'armature			13
Enrobage (mm)			
Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
121	148	133	9
Espacement (cm)			
Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
8.0	25.0	16.8	5.6

Armatures	Verticales		
Nuance	RL	Diamètre	8 mm
Nombre de détections d'armature			17
Enrobage (mm)			
Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
131	154	145	7
Espacement (cm)			
Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
9.3	37.7	16.9	8.1

ZONE 3

ANNEXE 5 : RAPPORT DU LABORATOIRE DE CHIMIE MICROSTRUCTURE

DIRECTION RÉGIONALE ÎLE-DE-FRANCE
ZAC la Clef Saint Pierre
12, avenue Gay Lussac
78990 ELANCOURT

DEPARTEMENT MATERIAUX ET SOLS

LABORATOIRE DE CHIMIE - MICROSTRUCTURE

DOSSIER : N° BDP6-Q-0172

RAPPORT D'ESSAIS 1.0 – Date : 24/04/2026

Dossier suivi par ***Morgan CLAVIE***
☎ : 06 59 51 38 32
E-mail : m.clavie@groupeginger.com

SERVICE : GINGER CEBTP RENNES

DOSSIER : N°ORE3-O-3001/12

I- ECHANTILLONS

Références : 4 carottes de béton référencées :

- Béton C1
- Béton C2
- Béton C5
- Béton C6

Affaire : Château d'eau Morillot (BC18) – Base navale – Brest (29)
N° de réception à GINGER CEBTP à Elancourt (78) : 154564 du 01/04/2026

II- PROGRAMME D'ESSAIS

Objet de la demande :

- Détermination de la teneur en chlorures libres, en chlorures totaux et en sulfates dans des tranches à différentes profondeurs des carottes de béton C1 et C6.
- Mesure de la densité et de la porosité du béton des carottes C2 et C5.

Préparation des échantillons avant dosage des chlorures libres, chlorures totaux et sulfates :

- Découpe des tranches (0-1 cm), (6-7 cm) et (11-12 cm) de la carotte C1.
- Découpe des tranches (0-1 cm), (12,5-13,5 cm) et (13,5-14,5 cm) de la carotte C6.
- Pré séchage des tranches dans une étuve ventilée à 45°C.
- Broyage à 0,315 mm.

Observations : Le présent rapport comprend 4 pages.
Sans autorisation préalable, il n'est utilisable à des fins commerciales ou publicitaires qu'en reproduction intégrale. Les résultats obtenus ne valent que pour l'objet soumis à essai, dans les conditions de réalisation de celui-ci. Ils ne sont pas généralisables.
Sauf demande écrite, les échantillons seront éliminés un mois après l'envoi du rapport.

Essais :

- Dosage des chlorures libres (Cl_{libres}) par potentiométrie après mise en solution dans l'eau selon le mode opératoire recommandé par GranDuBé dans les six tranches de béton.
- Dosage des chlorures totaux (Cl_{totaux}) par potentiométrie après mise en solution dans l'acide selon le mode opératoire recommandé par GranDuBé dans les six tranches de béton.
- Dosage des sulfates (SO_3) par spectrométrie d'émission optique par plasma à couplage inductif (ICP-OES) après mise en solution acide dans les six tranches de béton.
- Dosage de la silice (SiO_2) par spectrométrie d'émission optique par plasma à couplage inductif (ICP-OES) selon le mode opératoire recommandé par GranDuBé afin d'estimer la teneur en ciment des six tranches de béton et d'exprimer les résultats de teneurs en chlorures libres, chlorures totaux et sulfates par rapport au ciment.
- Mesure de la densité et de la porosité du béton des carottes C2 et C6 selon la norme NF P18-459.

Date des essais : Avril 2026

III- RESULTATS

III-1- Teneurs en chlorures dans les six tranches de béton

Les teneurs en chlorures libres et en chlorures totaux obtenues ainsi que ces mêmes teneurs exprimés par rapport au ciment sont présentées, en pourcentage massique, dans le tableau suivant :

Références	% silice	% ciment*	% Cl_{libres}	% Cl_{libres} / ciment	% Cl_{totaux}	% Cl_{totaux} / ciment
Béton C1 (0-1 cm)	4,55	19,8	0,007	**0,04**	0,019	**0,10**
Béton C1 (6-7 cm)	4,76	20,7	0,005	**0,02**	0,005	**0,02**
Béton C1 (11-12 cm)	5,09	22,1	0,005	**0,02**	0,005	**0,02**
Béton C6 (0-1 cm)	2,16	8,3	0,006	**0,07**	0,006	**0,07**
Béton C6 (12,5-13,5 cm)	3,61	13,9	0,005	**0,04**	0,007	**0,05**
Béton C6 (13,5-14,5 cm)	3,66	14,1	0,008	**0,05**	0,015	**0,10**

Teneur en chlorures libres et en chlorures totaux dans les six tranches de béton

* : La teneur en ciment est calculée par la méthode de la silice soluble conformément à GranDuBé en émettant l'hypothèse que :

- Le ciment des tranches « Béton C1 » titre 23 % de silice soluble (cas d'un ciment au laitier ; on note en effet, la présence de sulfures caractéristiques du laitier).
- Le ciment des tranches « Béton C6 » titre 26 % de silice soluble (cas d'un ciment au laitier ; on note en effet, la présence, en quantité importante, de sulfures caractéristiques du laitier de haut fourneau)

III-2- Teneurs en sulfates dans les six tranches de béton

Les teneurs en sulfates obtenues, ainsi que ces mêmes teneurs exprimées par rapport au ciment, sont présentées dans le tableau suivant :

Références	% silice	% ciment*	% SO_3	% SO_3 / ciment
Béton C1 (0-1 cm)	4,55	19,8	0,70	**3,54**
Béton C1 (6-7 cm)	4,76	20,7	0,64	**3,09**
Béton C1 (11-12 cm)	5,09	22,1	0,95	**4,29**
Béton C6 (0-1 cm)	2,16	8,3	0,47	**5,66**
Béton C6 (12,5-13,5 cm)	3,61	13,9	0,51	**3,67**
Béton C6 (13,5-14,5 cm)	3,66	14,1	0,54	**3,84**

Teneurs en sulfates dans les six tranches de béton

* : La teneur en ciment est calculée par la méthode de la silice soluble conformément à GranDuBé en émettant l'hypothèse que :

- Le ciment des tranches « Béton C1 » titre 23 % de silice soluble (cas d'un ciment au laitier ; on note en effet, la présence de sulfures caractéristiques du laitier).
- Le ciment des tranches « Béton C6 » titre 26 % de silice soluble (cas d'un ciment au laitier ; on note en effet, la présence, en quantité importante, de sulfures caractéristiques du laitier de haut fourneau)

III-3- Mesure de la densité et de la porosité des bétons C2 et C5

Les résultats des mesures de densité et de porosité sont présentés dans le tableau suivant :

Références	Densité	Porosité (% volume de vides)
Béton C2	2,14	17,4
Béton C5	2,18	16,8

Densité - Porosité

IV- SYNTHESE

IV-1- Teneurs en chlorures

La teneur critique en chlorures pouvant amorcer un phénomène de corrosion est admise à 0,4 % par rapport au ciment au niveau des armatures (conformément au paragraphe NA.5.2.8 de la norme NF EN 206+A2/CN qui spécifie cette teneur en amont des fabrications de béton contenant des armatures en acier ou des pièces métalliques noyées).

Dans le cas présent, les six tranches de béton analysées présentent des teneurs en chlorures libres et en chlorures totaux inférieures à la teneur critique.

IV-2- Teneurs en sulfates

Concernant les teneurs en sulfates, à titre indicatif, d'après la norme NF EN 197-1 (composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants), la teneur en sulfates exprimée en % de SO_3 rapportée à la masse de ciment, ne doit pas dépasser la valeur de 3,5 ou 4 % selon la classe de résistance du ciment.

Dans le cas présent, les tranches « Béton C1 (11-12 cm) » et « Béton C6 (0-1 cm) » présentent des teneurs en sulfates supérieures au seuil des 4 %.

Les tranches « Béton C1 (0-1 cm) », « Béton C6 (12,5-13,5 cm) » et « Béton C6 (13,5-14,5 cm) » présentent, quant à elles, des teneurs en sulfates supérieures au seuil des 3,5 %.

La tranche « Béton C1 (6-7 cm) » présente, quant à elle, une teneur en sulfates inférieure au seuil des 3,5 %.

G. SAULNIER
Technicienne

Dossier revu par
M. CLAVIE
Chargée d'Affaires

ANNEXE 6 : PLANCHE PHOTOGRAPHIQUE DES ESSAIS D'ARRACHEMENT



A1



A2



A3



A4



A5



A6



A7



A8



A9



A10

GINGER CEBTP

LE RESEAU





CONTACT

Agence de Rennes

2, rue de l'Eglantier
35520 LA MEZIERE

Tél. : +33 (0)2 99 27 51 10

Email : cebtp.rennes@groupeginger.com

www.groupeginger.com