



## SERVICE INTERUNIVERSITAIRE DE GESTION DU DOMAINE UNIVERSITAIRE

Réservoir sur tour et bache de PESSAC (33)

### MISSION DE DIAGNOSTIC STRUCTUREL DES BETONS

DOSSIER SBX3.L.0013



Agence de BORDEAUX • Domaine de Pelus – 19 Avenue Pythagore 33700 MERIGNAC  
Tél. 33 (0) 5 56 12 98 10 • Fax 33 (0) 5 56 13 07 31 • [cebtb.bordeaux@groupeginger.com](mailto:cebtb.bordeaux@groupeginger.com)



**GINGER CEBTP**

Domaine de Pelus

19 Avenue Pythagore

33700 MERIGNAC

T : 05.56.12.98.10 / F : 05.56.13.07.31 / Email : [cebtp.bordeaux@groupeginger.com](mailto:cebtp.bordeaux@groupeginger.com)**SERVICE INTERUNIVERSITAIRE DE GESTION DU DOMAINE UNIVERSITAIRE**

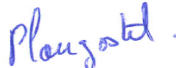

Réservoir sur tour et bache de PESSAC (33)

**MISSION DE DIAGNOSTIC STRUCTUREL DES BETONS**

Contrat : SBX3.K.0215

[n.plougastel@groupeginger.com](mailto:n.plougastel@groupeginger.com)

Dossier : SBX3.L.0013

Indice	Date	Rédigé par le Chargé d'affaire de la Division Matériaux Auscultation et Structures	Vérifié par le Chef de Service de la Division Matériaux Auscultation et Structures	Contenu	Observations
1	04/01/2021	<b>N. PLOUGASTEL</b> 	<b>M. HAHUSSEAU</b> 	169 pages dont 8 annexes de 88 pages	

A compter du paiement intégral de la mission, le client devient libre d'utiliser le rapport et de le diffuser à condition de respecter et de faire respecter les limites d'utilisation des résultats qui y figurent et notamment les conditions de validité et d'application du rapport.

## SOMMAIRE

<b>1. INTRODUCTION</b>	<b>5</b>
<b>2. MISSION</b>	<b>5</b>
2.1. Etendue de la mission	5
2.2. Contenu technique	5
2.3. Moyens mis en œuvre	7
<b>3. DESCRIPTION GENERALE</b>	<b>12</b>
3.1. Description du site	12
3.2. Description et repérage	14
<b>4. INVESTIGATIONS SUR BACHES ET LOCAUX D'ASPERSION</b>	<b>18</b>
4.1. Examen visuel des désordres	18
4.2. Reconnaissance des voiles périphériques	26
<b>5. INVESTIGATIONS SUR LE RESERVOIR SUR TOUR</b>	<b>32</b>
5.1. Examen visuel des désordres	32
5.2. Sondages et essais in situ	40
<b>6. ESSAIS EN LABORATOIRE</b>	<b>57</b>
6.1. Essais de compression sur carottes béton	57
6.2. Mesures de porosité sur échantillons de béton	59
6.3. Mesure de teneur en chlorures sur échantillons de béton	60
6.4. Analyses chimiques	61
<b>7. CONCLUSION</b>	<b>62</b>
7.1. Synthèse et analyse	62
7.2. Préconisations – bâches	73
7.3. Préconisations – réservoir sur tour	77

ANNEXE 1 : BACHES ET LOCAUX D'ASPERSIONS - IMPLANTATION DES SONDAGES _____	84
ANNEXE 2 : BACHES ET LOCAUX D'ASPERSIONS - IMPLANTATION DES DESORDRES _____	86
ANNEXE 3 : BACHES ET LOCAUX D'ASPERSIONS – DOSSIER PHOTOGRAPHIQUE _____	90
ANNEXE 4 : RESERVOIR SUR TOUR - IMPLANTATION DES SONDAGES _____	111
ANNEXE 5 : RESERVOIR SUR TOUR - IMPLANTATION DES DESORDRES _____	115
ANNEXE 6 : RESERVOIR SUR TOUR - DOSSIER PHOTOGRAPHIQUE _____	124
ANNEXE 7 : RESERVOIR SUR TOUR - RAPPORT D'ANALYSES CHIMIQUES _____	141
ANNEXE 8 : RAPPORT ETANDEX N° 2.34660 _____	142



## 1. INTRODUCTION

A la demande et pour le compte du SIGDU, l'agence GINGER CEBTP de Bordeaux a procédé à une mission de diagnostic structurel des bétons du réservoir sur tour et des bâches situés sur la commune de PESSAC (33).

## 2. MISSION

### 2.1. Etendue de la mission

La mission de GINGER CEBTP consiste et se limite à notre proposition référencée SBX3.K.0215 en date du 16 Décembre 2020 et fait suite au bon de commande n°CDE-2021-000322 en date du 25 Janvier 2021.

Le réservoir sur tour et les bâches situés sur la commune de PESSAC (33) présentent des dégradations, notamment sur la structure en béton armé.

Afin de permettre au maître d'ouvrage d'entreprendre des travaux de réhabilitation des ouvrages, les objectifs de cette mission de diagnostic sont :

- Etablir un relevé des désordres visibles affectant les ouvrages concernés
- Réaliser des investigations nécessaires à la détermination des principales pathologies
- Evaluer l'étendue des désordres, identifier leur origine et estimer leur évolutivité probable
- Indiquer des solutions de réparation en précisant l'urgence du traitement à apporter en fonction du degré de gravité du défaut constaté

### 2.2. Contenu technique

#### 2.2.1. Intervention sur site

##### **Bâches et locaux d'aspersion**

###### Examen visuel

- Relevé détaillé des désordres visibles affectant l'ouvrage : description, quantification et étendue des zones d'altération.

###### Ouvrages de génie civil (voiles et dalles hautes)

- Détection et mesure d'enrobage des armatures par des auscultations pachométriques à acquisition de données et/ou radar ;
- Prélèvements d'échantillons de béton par carottages à la couronne diamant pour des essais physico-mécaniques en laboratoire : résistance à la compression, porosité et masse volumique apparente ;
- Essais d'adhérence.

## **Réservoir sur tour**

### **Examen visuel**

- Relevé détaillé des désordres visibles affectant l'ouvrage : description, quantification et étendue des zones d'altération

### **Ouvrages de génie civil (fût / cuve / coupole)**

- Détection et mesure d'enrobage des armatures par des auscultations pachométriques à acquisition de données et/ou radar ;
- Prélèvements d'échantillons de béton par carottages à la couronne diamant pour des essais physico-mécaniques en laboratoire : résistance à la compression, porosité et masse volumique apparente ;
- Prélèvements d'échantillons de poudre de béton à différentes profondeurs pour analyses chimiques en laboratoire ;
- Détermination de la profondeur de carbonatation du béton par tests de réactivité à la phénolphthaléine effectués en différents points ;
- Evaluation et cartographie de l'état de corrosion des armatures par mesure de potentiel électrochimique.
- Essais d'adhérence.

### **2.2.2. Essais et analyses en laboratoire**

- Photographies et description des carottes prélevées.
- Détermination des caractéristiques physico-mécaniques des bétons par essais de résistance à la compression, porosité et masse volumique réalisés à partir des carottes prélevées sur l'ouvrage en béton selon la norme NF EN 13791/CN ;
- Recherche de pollution du béton par dosages en chlorures sur échantillons de poudre de béton ;
- Rapport E/C

## 2.3. Moyens mis en œuvre

La méthodes et matériels utilisés in-situ ont été les suivants :

### 2.3.1. Sondages et essais in-situ

#### ✓ Carottages

Les sondages par carottage sous eau avec des carottiers en couronne diamant de diamètre adapté permettent de reconnaître précisément la nature et l'épaisseur des éléments structuraux et de prélever des échantillons pour des essais de caractérisation en laboratoire.

#### ✓ Auscultation pachométrique à acquisition de données

Le repérage des armatures est effectué au moyen d'un pachomètre à acquisition de données (Ferroscan PS200 Hilti).



Chaque armature qui se rapproche des sondes pachométriques engendre un signal électrique dont la différence de potentiel est d'autant plus élevée que l'armature est proche de la sonde. On enregistre ainsi une série de sinusoides dont les sommets correspondent exactement à la position des armatures. L'enregistrement est asservi à la vitesse de déplacement du chariot, ce qui permet de situer exactement la position des armatures par rapport à un niveau de référence.

Les signaux peuvent être enregistrés sous la forme de fichiers informatiques de 2 types :

- L### (Quickscan) : linéaire par balayage dans une direction jusqu'à 20 m de longueur qui permet de repérer les aciers perpendiculaires au sens de parcours de la mesure. Le résultat est donné sous forme de diagramme où l'on peut voir la position des aciers, leur espacement et leur enrobage,
- M### (Imagescan) : image scannée 60x60 cm par balayage dans 2 directions selon maillage 15x15 cm. Ce mode permet de visualiser en 2 D les armatures présentes dans l'aire de mesure.

Après l'intervention, un traitement informatique grâce à un logiciel intégré, permet une représentation graphique des mesures, ainsi qu'une analyse statistique de celles-ci.

✓ Auscultation radar

L'auscultation est effectuée au moyen d'un radar EasyScan HR (GSSI).



Ce radar est dédié à la détection et localisation des armatures, conduites métal et plastique, câbles de précontrainte, vides dans le béton et à la mesure d'épaisseur de béton jusqu'à 40 cm.

Le radar d'auscultation (georadar) fonctionne sur le principe de l'étude de la propagation d'une onde électromagnétique dans le milieu étudié. Le système envoie une onde (un pulse) de très courte durée dans le matériau et enregistre l'amplitude et le temps d'arrivée de chaque onde réfléchi. Les réflexions sont produites au droit de tout changement dans les propriétés de conduction du courant électrique du milieu (constante diélectrique). L'amplitude de la réflexion est déterminée par le contraste de permittivité diélectrique entre l'encaissant et la cible.

L'onde radar n'est pas émise selon une ligne droite depuis l'antenne mais elle décrit un cône d'émission d'une largeur connue. Le temps du trajet de l'onde au bord de ce cône est plus grand que celui au centre de l'antenne ; ceci est à l'origine de la forme d'hyperbole caractéristique d'un objet ponctuel (telle qu'une armature). La cible est située au sommet de cette signature.

Afin de déterminer la profondeur d'un objet ou l'épaisseur d'une couche, il faut connaître la constante diélectrique d'un béton, qui indique la vitesse des ondes radar. Cette constante, variant suivant la composition du béton, sa teneur en eau, son âge, etc... ne peut être déterminée sans sondages destructifs.

✓ Sondage destructif

La mission de piquage (ou burinage) du béton vise à dégager les armatures présentes dans le béton au niveau du premier lit. Un sondage destructif peut également servir à prélever des échantillons de béton de la structure afin de réaliser des analyses chimiques en laboratoire. La mise à nu d'une armature nous renseigne sur sa nature (haute adhérence HA ou Rond Lisse RL, Treillis Soudé TS), son enrobage réel, la section de l'acier (diamètre, géométrie) son état de dégradation vis à vis de la corrosion.

✓ Mesure de la profondeur de carbonatation

La mesure du front de carbonatation par la méthode d'aspersion d'une solution « Indicateur TA » sur une coupe fraîche du béton vise à caractériser l'épaisseur de béton carbonaté en peau d'un élément d'ouvrage, en vue d'estimer les risques de corrosion des armatures de constitution.



Le dioxyde de carbone  $\text{CO}_2$ , qui est sous forme gazeuse dans l'atmosphère, pénètre dans les pores du béton. Cette pénétration est d'autant plus rapide que le béton est poreux. Ce gaz peut se dissoudre dans l'eau interstitielle qui se trouve dans certains pores. Il peut alors réagir avec le ciment et former des carbonates. Cette réaction diminue le pH du béton, jusqu'à une valeur voisine de 9,5 et ainsi favoriser la corrosion des armatures lorsque le front de carbonatation atteint celles-ci. La carbonatation commence donc depuis la surface du béton et concerne une certaine épaisseur (dite profondeur de carbonatation) du matériau. Elle est déterminée en aspergeant la coupe fraîchement réalisée dans le béton à l'aide d'une solution de phénolphthaléine, indicateur coloré virant de l'incolore au violet pour un pH de 9. La zone colorée en rose/violet est donc considérée comme non carbonatée.

✓ Mesures de potentiel électrochimique

➤ Principe

La corrosion des armatures est un processus électrochimique qui procède par échange de courant (électrons) entre les divers éléments en présence (acier, oxygène, solution interstitielle des pores du béton). En fonction des réactions anodiques (oxydation de l'acier) et cathodiques (réduction de l'oxygène), une différence de potentiel s'établit à l'interface acier-béton.

La valeur de ce potentiel, complexe est une indication de l'état de corrosion des aciers : (le potentiel descend dès qu'il y a amorce de corrosion), mais dépend aussi de la teneur en eau du béton et ne peut être relié à aucune loi mathématique.

La valeur absolue de ce potentiel n'aura donc que peu de signification. Néanmoins, la réalisation de nombreuses mesures permet de détecter les zones de corrosion, par la comparaison avec l'état des armatures observées en quelques points et de définir ainsi une échelle des potentiels.

➤ Méthodologie

Après repérage de la zone inspectée, l'appareil de mesure est relié au réseau d'armatures après sondage ponctuel et à une électrode de référence appliquée sur le parement béton

Les potentiels mesurés aux points testés sont exprimés en mV par rapport à l'électrode de référence au sulfate de cuivre saturé. L'exploitation de ces mesures permet de déterminer d'éventuelles zones de corrosion active (zone de bas potentiel).

Les mesures sont effectuées à l'aide d'un appareil de type multimètre, équipé d'une électrode à barre pour des mesures ponctuelles



#### ✓ Essais d'adhérence

Pour tester l'adhérence entre différents matériaux, nous employons un appareil d'essais type extractomètre PROCEQ permettant d'appliquer un effort de traction à vitesse constante.



Extractomètre PROCEQ

L'essai d'arrachement est effectué sur des pastilles collées sur l'élément à tester par une colle époxy. Sur la pastille est fixée une rotule mâle venant se loger dans la rotule femelle située à la base de l'axe central de l'appareil d'essai d'adhérence.

L'effort de traction exercé sur la pastille est directement indiqué et mémorisé sur l'appareil.

On obtient ainsi la force de traction  $F$  (en kN) de l'élément testé.

### 2.3.2. Essais en laboratoire

#### ✓ Essai de compression sur carotte béton

La résistance à la compression du béton durci est déterminée en chargeant une éprouvette de béton jusqu'à la rupture.

L'essai est effectué sur des éprouvettes dont les extrémités ont été préalablement rectifiées. Après sciage sous eau au moyen d'une scie circulaire diamantée, les deux faces parallèles (haute et basse) des différentes carottes de béton sont dressées au mortier de soufre.

Les éprouvettes ainsi préparées sont écrasées selon les modalités définies dans la norme d'essai NF EN 12390-3, sur une presse d'essai conforme à la classe 1 selon la norme NF EN12390-4.

L'évaluation de la classe de résistance du béton prélevé sur site au sens de la NF EN 206-1 sera réalisée à partir des résultats des essais en laboratoire et de la norme NF EN 13791.

#### ✓ Principe du dosage des chlorures libres

Le dosage des chlorures libres (Cl libres) est établi par potentiométrie après mise en solution dans l'eau selon le mode opératoire recommandé par GranDuBé.

#### ✓ Mesures de masse volumique et porosité sur béton

La détermination de la masse volumique apparente et porosité accessible à l'eau est réalisée selon la procédure CEBTP N° E 10-191 suivant le mode opératoire recommandé par l'AFREM.

La masse sèche de l'échantillon est déterminée après séchage par étuvage à 105 °C jusqu'à masse constante.

Le volume total et volume des vides de l'échantillon est déterminée par pesée hydrostatique après imbibition sous vide à l'aide d'une cloche à vide munie d'un dispositif permettant l'introduction d'eau.

#### ✓ Estimation du taux d'hydratation et rapport E/C

Estimation du taux d'hydratation par la méthode Karl Fisher et du rapport pondéral Eau sur Ciment (E/C).

Les taux d'hydratation ont été réalisés en surface et à cœur d'échantillon

Ces essais permettent de vérifier les caractéristiques du béton mis en œuvre.

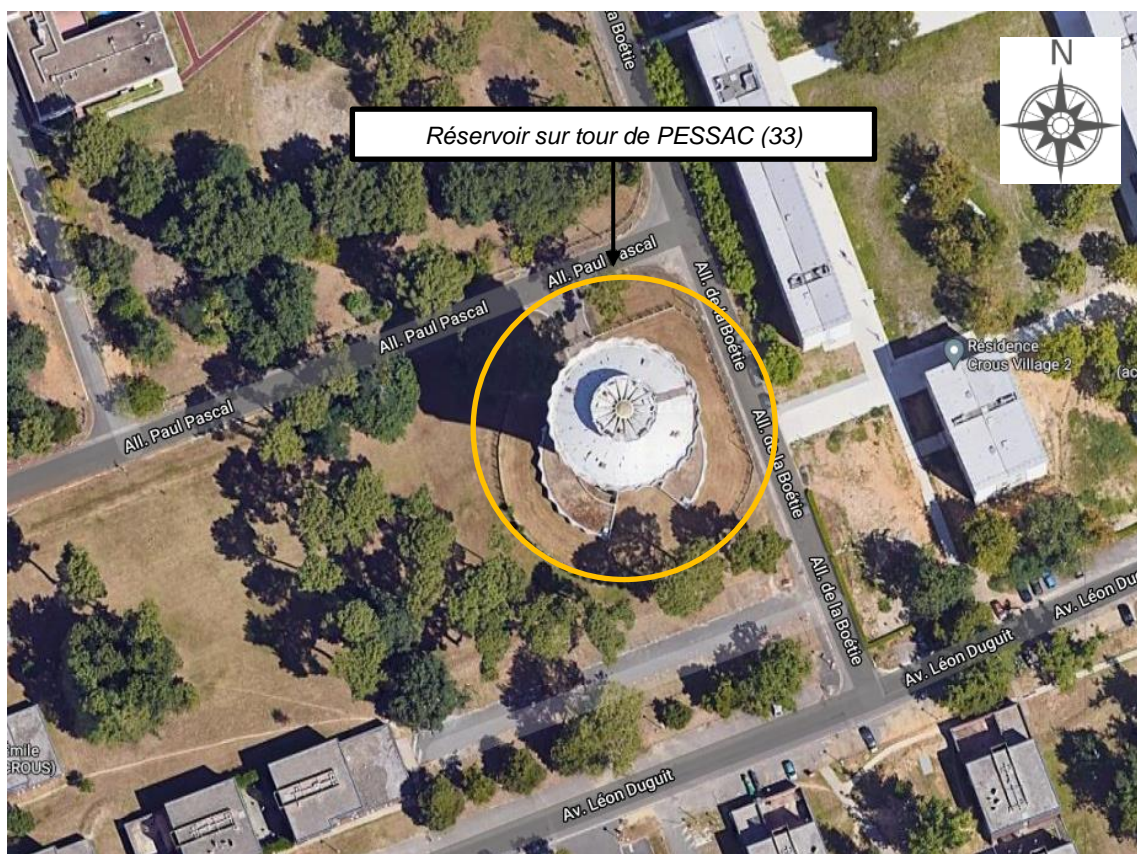


### 3. DESCRIPTION GENERALE

#### 3.1. Description du site

La présente mission porte sur le diagnostic structural du réservoir sur tour, des bâches et locaux d'aspersion situés sur le campus de l'université de la commune de PESSAC (33).

Une vue aérienne et une photographie générale des ouvrages étudiés sont présentées ci-dessous :



Photographie 1 : Vue aérienne du réservoir sur tour  
[Source : Google Maps]





Réservoir sur  
tour

Bâches et  
Locaux d'aspersions

Photographie 2 : Vue générale du réservoir sur tour

## 3.2. Description et repérage

### 3.2.1. Bâches et locaux d'aspersion

L'ouvrage étudié est composée de plusieurs bâches et locaux d'aspersion circulaire bi-étagée en béton armé, intermédiaires au réservoir sur tour.

La structure principale de la bâche est composée de voiles en béton armé d'une épaisseur de l'ordre de 15 à 20 cm. Ces derniers supportent une dalle périphérique en béton armée et une structure secondaire dite « salle d'asperseurs », constituée d'un voile périphérique en béton armé d'une épaisseur de l'ordre de 15 à 20 cm et d'une dalle haute en béton armé.

A l'intérieur, les bâches et les salles d'aspersion sont revêtues d'une étanchéité de type mortier hydrofuge et peinture. L'accès aux bâches s'effectue par l'intermédiaire d'échelles à crinoline.

Les différents éléments constituant les bâches et locaux d'aspersion sont présentés sur la coupe en élévation et les vues en plans ci-après.

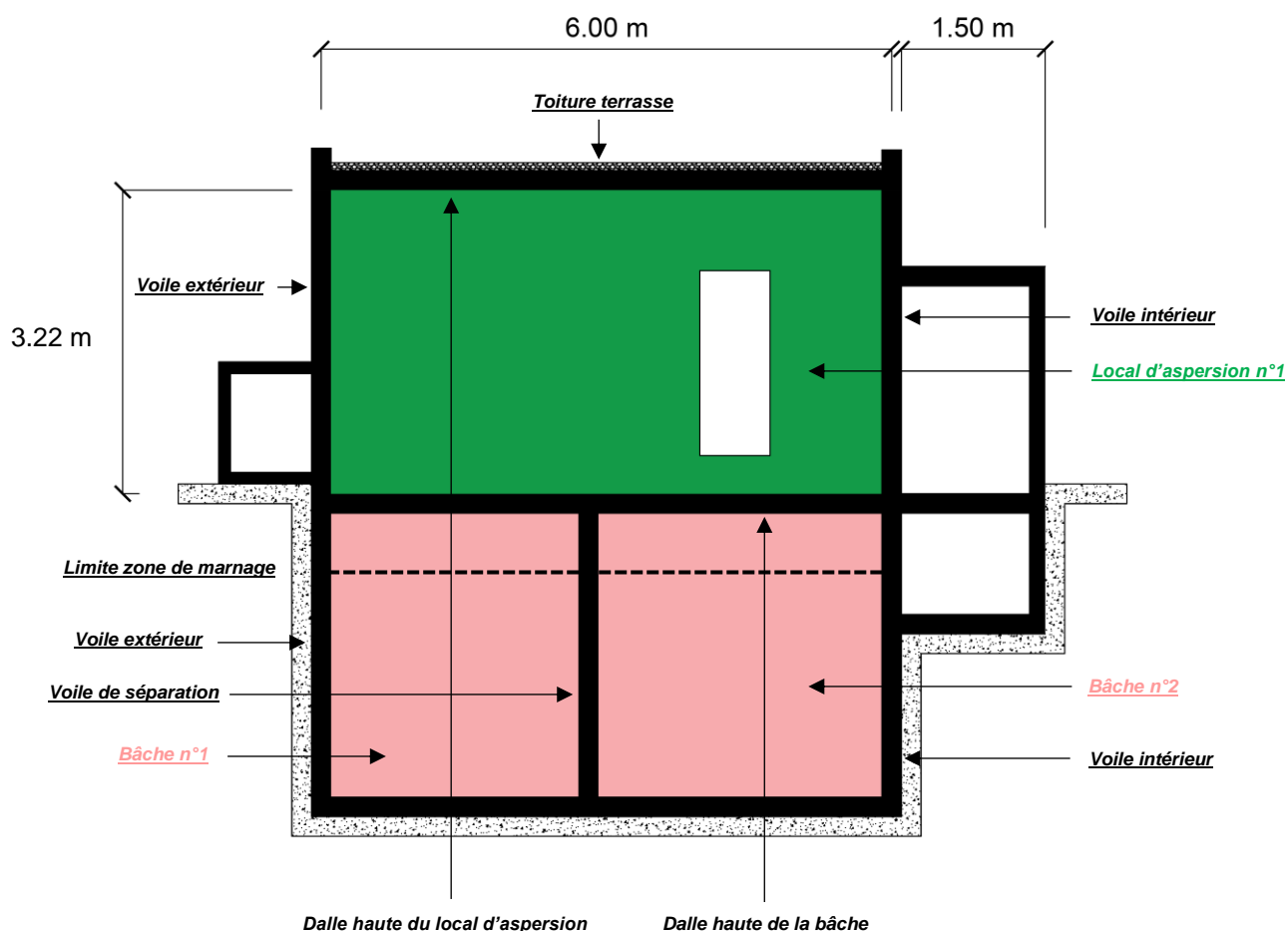


Figure 1 : Coupe en élévation descriptive des bâches n°1 et n°2 et du local d'aspersion n°1

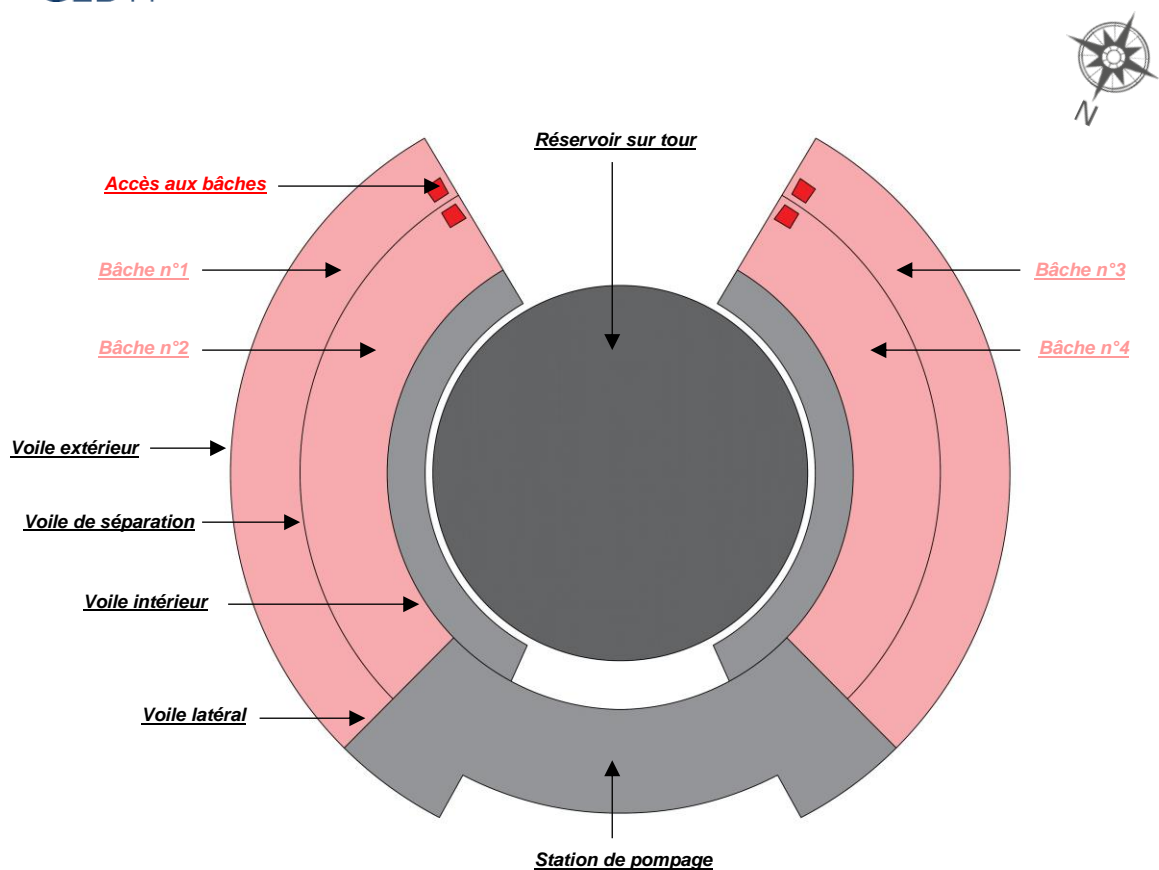


Figure 2 : Vue en plan des bâches

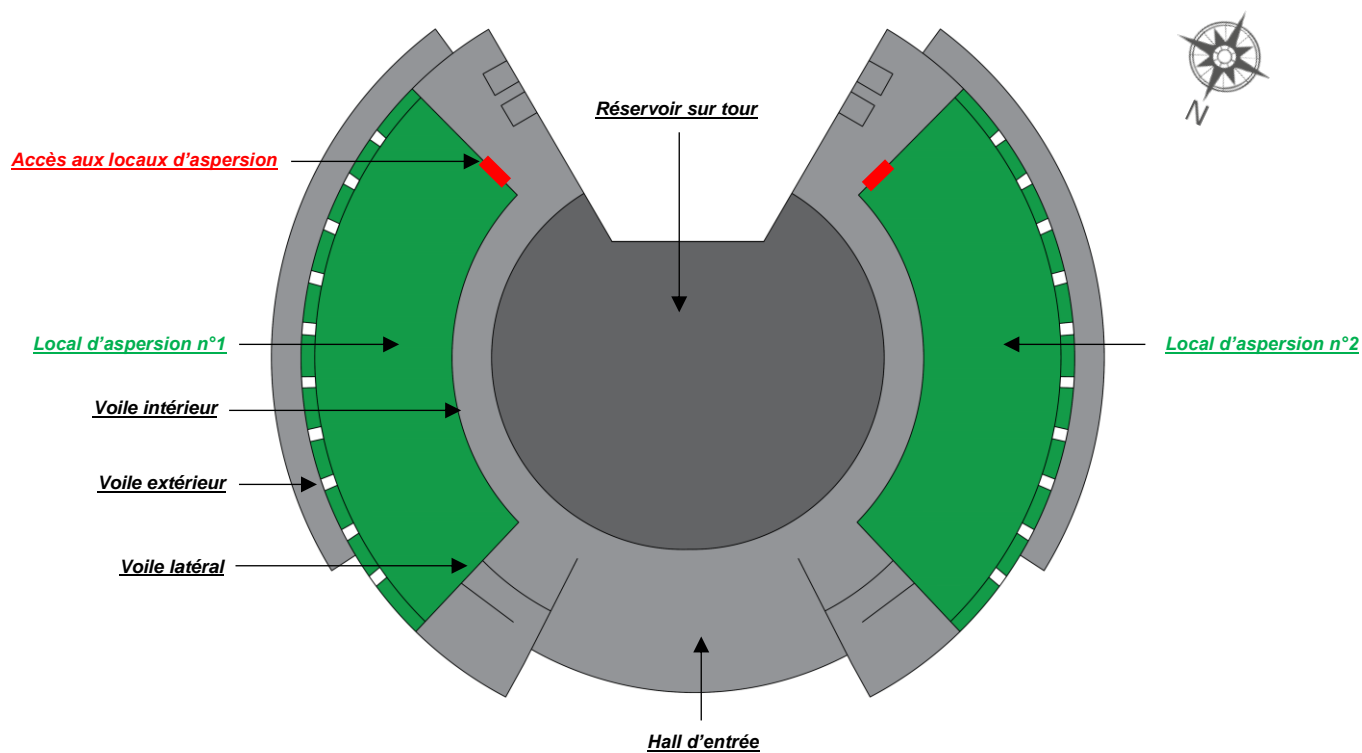


Figure 3 : Vue en plan des locaux d'aspersion

### **3.2.2. Réservoir sur tour**

L'ouvrage étudié, d'une hauteur totale de l'ordre de 55 m, est un réservoir sur tour en béton armé datant du début des années 60. Il est constitué d'un fût tronconique supportant une cuve tronconique d'une capacité de 3000 m<sup>3</sup>, plus évasée en partie supérieure.

A l'intérieur du fût, on retrouve un palier intermédiaire constitué d'un plancher poutrelles/hourdis reposant sur des poutres en béton armé. Ce palier permet l'accès aux vannes des différentes canalisations du réservoir.

L'accès au palier sous cuve, à la cuve et au palier supérieur s'effectue par l'intermédiaire d'un escalier hélicoïdal central en béton armé. Un ascenseur est également présent jusqu'au palier sous cuve.

L'escalier hélicoïdale permet l'accès à une coursive située à l'intérieure et en partie haute de la cuve. Une échelle à crinoline, accessible depuis la coursive, permet l'accès à la partie inférieure de la cuve.

Au niveau de la cuve, un conduit de passage permet d'accéder à un palier supérieur qui correspond au niveau haut de la cuve. A l'intérieur, la cuve est revêtue d'une étanchéité de type mortier hydrofuge.

Les différents éléments constituant le réservoir sur tour sont présentés sur la coupe en élévation ci-après :

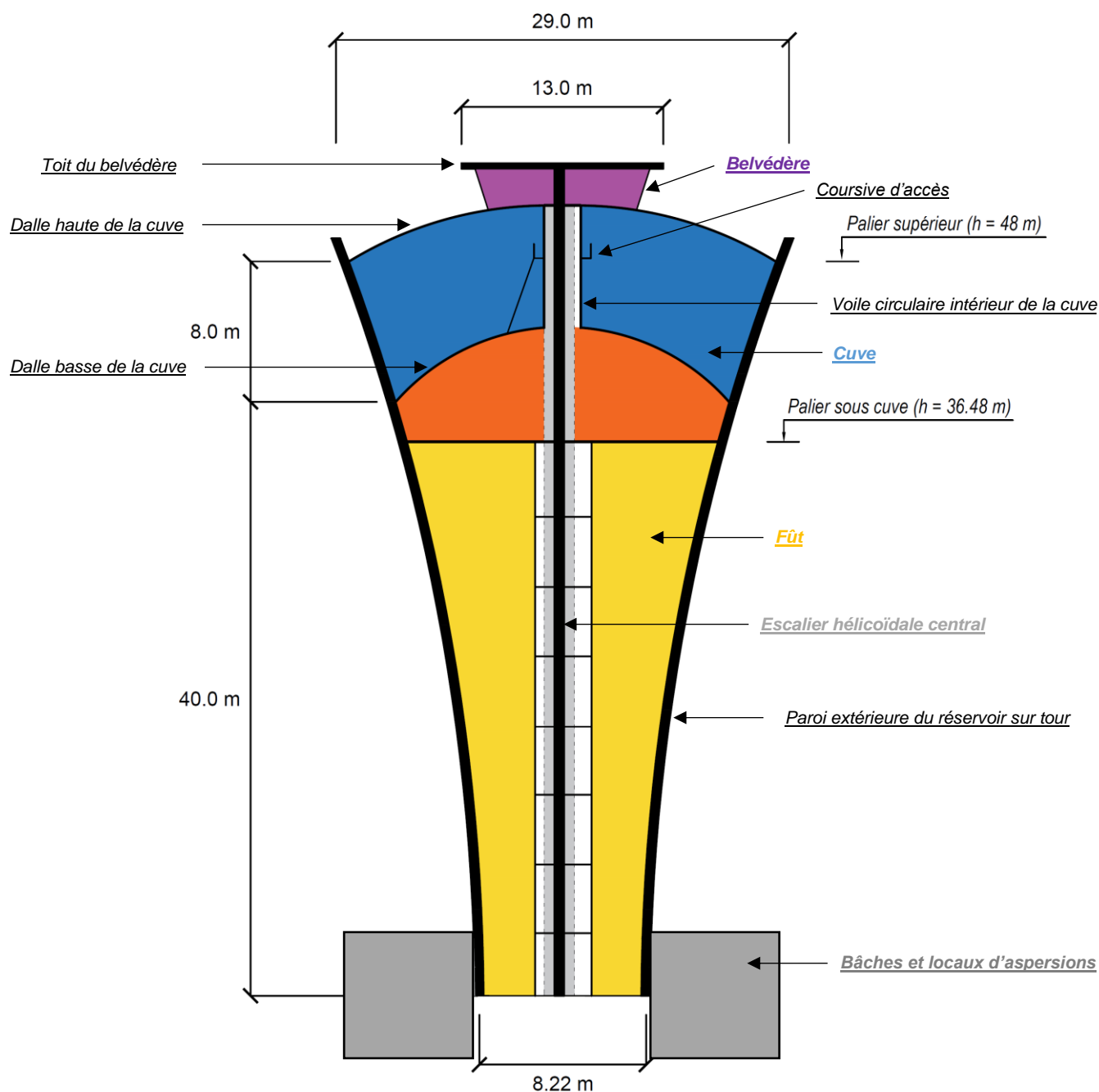


Figure 4 : Coupe en élévation descriptive du réservoir sur tour

## 4. INVESTIGATIONS SUR BACHES ET LOCAUX D'ASPERSION

### 4.1. Examen visuel des désordres

#### 4.1.1. Définition des indices de gravité

Les défauts recensés lors de l'inspection visuelle sont affectés d'un indice en fonction de leur importance, à savoir :

- ✓ **Indice B** : défauts sans conséquence importante autre qu'esthétique ;
- ✓ **Indice C** : défauts qui indiquent qu'une évolution risque de se faire anormalement ;
- ✓ **Indice D** : défauts révélateurs d'une évolution, rangés en deux classes :
  - **D.1.** : défauts qui indiquent un début d'évolution ;
  - **D.2.** : défauts qui indiquent une évolution avancée.
- ✓ **Indice E** : défauts qui traduisent de façon très nette une modification de comportement de la structure et qui mettent en cause la durée de vie de l'ouvrage ;
- ✓ **Indice F** : défauts indiquant la proximité d'un état limite de service et nécessitant soit une restriction d'utilisation, soit la mise hors service de l'ouvrage.



#### 4.1.2. Inventaire des désordres

Les désordres visibles affectant les éléments de structure des ouvrages sont présentés dans les tableaux suivants. Leur implantation figure en Annexe 2.

##### ▪ Type 1 : Epaufures de béton

Ces défauts sont dus à un manque d'enrobage qui viennent oxyder les armatures. Les armatures corrodées augmentent de volume, ce qui engendre des contraintes intrinsèques dans le béton d'où des éclatements et des épaufrures.




On distingue :

1.1 : Eclats, cassures, désagrégation du béton		
Description	Indice de gravité	Illustration
<p>Un éclat a été observé en partie haute du voile de séparation entre la bache n°3 et 4. Cet éclat, proche de l'échelle à crinoline, se situe au bord d'un passage de gaine.</p> <p>Couleur désordre : </p>	D1	 <p>Photographie 3 : Epaufure du béton</p>




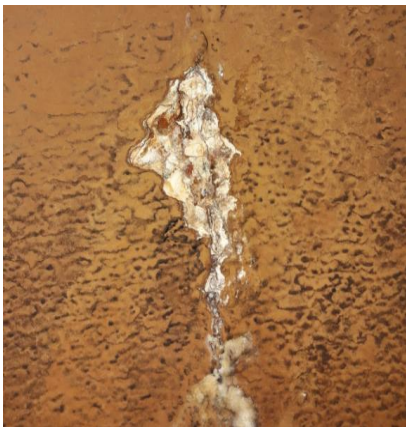
## 1.2 : Armatures apparentes oxydées

La disparition du béton d'enrobage laisse les armatures à nu. La gravité dépend de l'étendue de la zone dégradée et de l'état des armatures.



Description	Indice de gravité	Illustration
<p>Ces désordres ont été observés principalement au niveau des zones suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Au droit de certaines aérations des locaux d'aspersion, de façon localisée.</li> <li>• En sous-face de la dalle haute de certaines bâches, de façon très localisée.</li> </ul> <p>Couleur désordre : ●</p>	D2	 <p>Photographie 4 : Armatures corrodées – dalle haute de l'une des bâches</p>  <p>Photographie 5 : Armatures corrodées au niveau de l'une des trappes d'accès</p>  <p>Photographie 6 : Armature apparente au niveau d'une aération d'un local d'aspersion</p>





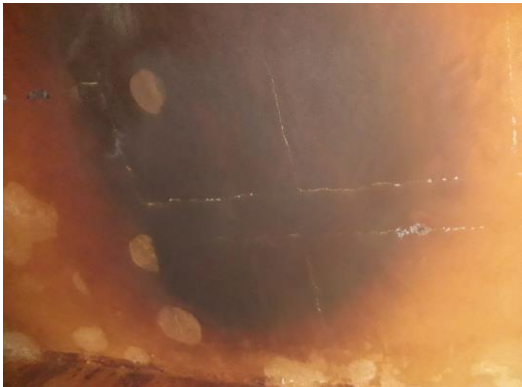
▪ **Type 2 : Infiltrations**

Infiltrations		
Description	Indice de gravité	Illustration
<p>On retrouve des traces de calcite :</p> <p>➤ <u>Voiles</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Sur la paroi intérieure des voiles intérieurs et extérieurs des salles d'aspersion, de façon très localisée.</li> </ul> <p>➤ <u>Dalles hautes</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>En sous-face de la dalle haute des bâches et des locaux d'aspersion, localisées au droit de fissures.</li> </ul> <p>Couleur désordre : ❌</p>	<b>D2</b>	 <p>Photographie 7 : Traces de calcite en sous-face de la dalle haute d'une bâche</p>  <p>Photographie 8 : Traces de calcite sur le voile périphérique en parement intérieur d'un local d'aspersion</p>


▪ **Type 3 : Fissuration**

Fissuration		
Description	Indice de gravité	Illustration
<p>La fissuration des éléments en béton armé a été observée à l'intérieur des bâches et des locaux d'aspersions :</p> <p>➤ <u>Voiles</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Plusieurs fissures verticales, <math>0.3 \leq w \leq 2</math> mm, principalement situées en partie haute des voiles des locaux d'aspersion.</li> <li>1 fissure horizontale le long des voiles extérieurs, situées à 40 cm depuis la sous-face de la dalle haute des locaux d'aspersion.</li> </ul> <p>➤ <u>Dalles hautes</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Plusieurs fissures transversales traversantes, situées en sous-face des dalles hautes des locaux d'aspersion.</li> <li>Plusieurs fissures transversales traversantes, situées en sous-face des dalles hautes des bâches.</li> </ul> <p>Couleur désordre : — et ✖</p>	<p><b>D2</b></p>	 <p>Photographie 9 : Fissuration de la dalle haute de l'une des bâches</p>  <p>Photographie 10 : Fissuration de la dalle haute de l'un des locaux d'aspersion</p>



#### Type 4 : Défauts d'étanchéité

Etanchéité à l'intérieur des bâches et locaux d'aspersion		
Description	Indice de gravité	Illustration
<p>La dégradation de l'étanchéité a été observée à l'intérieur des bâches et des locaux d'aspersion :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Des zones de cloquage avec disparition du revêtement laissant apparaître le support mortier.</li> </ul> <p>Couleur désordre : ●</p>	D2	 <p>Photographie 11 : Disparition de l'étanchéité à l'intérieur de la bâche</p>  <p>Photographie 12 : Cloquage de l'étanchéité à l'intérieur de la bâche</p>  <p>Photographie 13 : Cloquage de l'étanchéité à l'intérieur d'un local d'aspersion</p>

**Type 5 : Dégradations des équipements**

Equipements divers		
Description	Indice de gravité	Illustration
Certaines conduites situées à l'intérieur des bâches présentes des marques de corrosion.	<b>D1 à D2</b>	 <p>Photographie 14 : Corrosion d'une conduite</p>

## Type 6 : Présence de ferrite


Dépôt de ferrite		
Description	Indice de gravité	Illustration
<p>Compte tenu de la composition de l'eau, la présence de ferrite a été observée :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Au niveau des salles d'aspersion, les voiles présentent un dépôt de ferrite sur une hauteur d'environ 2.30 m, pour une épaisseur de 1 à 2 mm.</li> <li>○ De manière moins prononcée au niveau des voiles des bâches.</li> </ul>	C	 <p>Photographie 15 : Dépôt de ferrite</p>  <p>Photographie 16 : Dépôt de ferrite</p>


## 4.2. Reconnaissance des voiles périphériques

### 4.2.1. Reconnaissance de constitution par carottage

8 carottages diamant sous eau, repérés **C1 à C8**, ont été réalisés sur les bâches et les zones d'aspersion du château d'eau. Leur implantation figure en annexe 1.

Les résultats des carottages sont récapitulés dans les tableaux ci-dessous :


<u>Carottage C1</u>				
Situation : Bâche n°1 – Parois verticale – Non traversant				
Profondeur (int → ext)	Epaisseur	Description	Observations / Photos	
0 / 0.5 cm	0.5 cm	Peinture + Enduit mortier		
0.5 / 13.0 cm	12.5 cm	<b>Béton</b>  Dmax : 20 mm Bullage faible	<i>Présence d'un acier de type RL Ø8 mm dans le sens horizontal situé à 3.0 cm depuis la surface du béton</i> <i>Présence d'un acier de type HA Ø12 mm dans le sens vertical situé à 4.0 cm depuis la surface du béton</i> <i>Echantillon C1</i>	

<u>Carottage C2</u>				
Situation : Bâche n°2 – Parois verticale – Non traversant				
Profondeur (int → ext)	Epaisseur	Description	Observations / Photos	
0 / 0.5 cm	0.5 cm	Peinture + Enduit mortier		
0.5 / 13.0 cm	12.5 cm	<b>Béton</b>  Dmax : 14 mm Bullage faible	<i>Présence d'un acier de type RL Ø8 mm dans le sens horizontal situé à 2.5 cm depuis la surface du béton</i> <i>Présence d'un acier de type HA Ø12 mm dans le sens vertical situé à 3.5 cm depuis la surface du béton</i> <i>Echantillon C2</i>  <i>Présence d'un acier de type HA Ø12 mm dans le sens vertical situé à 10.5 cm depuis la surface du béton</i>	




### Carottage C5

Situation : Aspersions n°1 – Parois verticale – Non traversant

Profondeur (int → ext)	Epaisseur	Description	Observations / Photos	
- / - cm	-	Ferrite		
0 / 0.5 cm	0.5 cm	Enduit mortier n°1		
0 / 0.5 cm	0.5 cm	Enduit mortier n°2		
1.0 / 14.5 cm	13.5 cm	<b>Béton</b>  Dmax : 20 mm Bullage faible	<i>Echantillon C5</i>  Présence d'un acier de type RL Ø8 mm dans le sens horizontal situé à 8.0 cm depuis la surface du béton Présence d'un acier de type RL Ø8 mm dans le sens vertical situé à 9.0 cm depuis la surface du béton	


### Carottage C6

Situation : Aspersions n°1 – Parois verticale – Non traversant

Profondeur (int → ext)	Epaisseur	Description	Observations / Photos	
- / - cm	-	Ferrite		
0 / 0.5 cm	0.5 cm	Enduit mortier n°1		
0 / 0.5 cm	0.5 cm	Enduit mortier n°2		
1.0 / 14.0 cm	13.0 cm	<b>Béton</b>  Dmax : 20 mm Bullage faible	<i>Echantillon C6</i>  Présence d'un acier de type RL Ø8 mm dans le sens horizontal situé à 6.0 cm depuis la surface du béton Présence d'un acier de type RL Ø8 mm dans le sens vertical situé à 7.0 cm depuis la surface du béton	


### Carottage C3

Situation : Bâche n°3 – Parois verticale – Non traversant

Profondeur (int → ext)	Epaisseur	Description	Observations / Photos	
0 / 1.0 cm	1.0 cm	Peinture + Enduit mortier		
1.0 / 12.5 cm	11.5 cm	<b>Béton</b> Dmax : 14 mm Bullage faible	Présence d'un acier de type RL Ø8 mm dans le sens horizontal situé à 4.5 cm depuis la surface du béton Présence d'un acier de type HA Ø16 mm dans le sens vertical situé à 5.5 cm depuis la surface du béton  <i>Echantillon C3</i>	

### Carottage C4


Situation : Bâche n°4 – Parois verticale – Non traversant

Profondeur (int → ext)	Epaisseur	Description	Observations / Photos	
0 / 0.5 cm	0.5 cm	Peinture + Enduit mortier		
0.5 / 13.0 cm	12.5 cm	<b>Béton</b> Dmax : 14 mm Bullage faible	Présence d'un acier de type RL Ø8 mm dans le sens horizontal situé à 3.0 cm depuis la surface du béton Présence d'un acier de type HA Ø12 mm dans le sens vertical situé à 4.0 cm depuis la surface du béton  <i>Echantillon C4</i>	




### Carottage C7

Situation : Aspersions n°2 – Parois verticale – Non traversant

Profondeur (int → ext)	Epaisseur	Description	Observations / Photos	
- / - cm	-	Ferrite		
0 / 1.0 cm	1.0 cm	Peinture + Enduit mortier		
1.0 / 14.0 cm	13.0 cm	<b>Béton</b>  Dmax : 14 mm Bullage faible	<i>Echantillon C7</i>  Présence d'un acier de type RL Ø8 mm dans le sens horizontal situé à 7.5 cm depuis la surface du béton Présence d'un acier de type RL Ø8 mm dans le sens vertical situé à 8.5 cm depuis la surface du béton	

### Carottage C8

Situation : Aspersions n°2 – Parois verticale – Non traversant

Profondeur (int → ext)	Epaisseur	Description	Observations / Photos	
- / - cm	-	Ferrite		
0 / 1.0 cm	1.0 cm	Peinture + Enduit mortier		
1.0 / 10.5 cm	9.5 cm	<b>Béton</b>  Dmax : 14 mm Bullage faible	<i>Echantillon C8</i>	

#### 4.2.2. Détection des armatures

Des auscultations pachométriques ont été réalisés en surface du parement extérieur des voiles périphériques de la bache.

Les résultats sont récapitulés dans le tableau suivant :

➤ Bâches n°1 et 2 :

Auscultations radar						
Localisation	N° fichier	Longueur d'analyse [m]	Sens des armatures	Espacement moyen [cm]	Enrobage (*) [mm]	
					min	max
Voile extérieur	P8F10	20.4	Sens vertical	[15.5 - 16]	15	70
Voile central Face n°1	P8F9	19.2		[16 – 16.5]	25	80
Voile central Face n°2	P8F8	17.4		[15.5 - 16]	20	65
Voile intérieur	P8F7	14.6		[18 – 18.5]	35	80
(*) La constante diélectrique de l'ouvrage en béton n'ayant pas été déterminée, les enrobages ne sont qu'indicatifs.						

➤ Aspersion n°1 :

Auscultations radar						
Localisation	N° fichier	Longueur d'analyse [m]	Sens des armatures	Espacement moyen [cm]	Enrobage (*) [mm]	
					min	max
Voile extérieur	P8F11	20.4	Sens vertical	[15.5 - 16]	35	90
Voile latéral	P8F12	5.6		[19.5 - 20]	80	115
Voile latéral	P8F13	3.4		[19.5 - 20]	65	85
(*) La constante diélectrique de l'ouvrage en béton n'ayant pas été déterminée, les enrobages ne sont qu'indicatifs.						

➤ Bâches n°3 et 4 :

Auscultations radar						
Localisation	N° fichier	Longueur d'analyse [m]	Sens des armatures	Espacement moyen [cm]	Enrobage (*) [mm]	
					min	max
Voile extérieur	P8F6	20.4	Sens vertical	[16 – 16.5]	35	70
Voile central <i>Face n°1</i>	P8F5	19.2		[15 – 15.5]	20	75
Voile central <i>Face n°2</i>	P8F4	17.6		[15.5 – 16]	15	70
Voile intérieur	P8F3	13.0		[18 – 18.5]	25	60
<i>(*) La constante diélectrique de l'ouvrage en béton n'ayant pas été déterminée, les enrobages ne sont qu'indicatifs.</i>						

➤ Aspersions n°2 :

Auscultations radar						
Localisation	N° fichier	Longueur d'analyse [m]	Sens des armatures	Espacement moyen [cm]	Enrobage (*) [mm]	
					min	max
Voile extérieur	P8F15	20.4	Sens vertical	[16 – 16.5]	55	95
Voile latéral	P8F16	5.4		[20 – 20.5]	70	90
Voile latéral	P8F17	2.6		[20 – 20.5]	60	80
(*) La constante diélectrique de l'ouvrage en béton n'ayant pas été déterminée, les enrobages ne sont qu'indicatifs.						

#### 4.2.3. Commentaires

Les voiles périphériques reconnus de la bache et la salle d'aspersion sont des voiles en béton armé.

Pour les bâches :

- Les voiles sont armés par une nappe d'armatures composée d'aciers verticaux de type RL Ø8 mm espacés de 15 à 18.5 cm en moyenne et d'aciers horizontaux de type HA Ø12 mm voire HA Ø16 mm (voir C3).
- Les enrobages moyens des aciers présents sont corrects avec des valeurs comprises entre 15 et 80 mm depuis le parement extérieur béton.

Pour les salles d'aspersion :

- Les voiles sont armés par une nappe d'armatures composée d'aciers verticaux de type RL Ø8 mm espacés de 15.5 à 20.5 cm en moyenne et d'aciers horizontaux de type RL Ø8 mm.
- Les enrobages moyens des aciers présents sont corrects avec des valeurs comprises entre 35 et 115 mm.

Nous rappelons que, selon l'article 4.4.1 de l'Eurocode 2 Partie 1-1 et son Annexe Nationale, l'enrobage minimal  $C_{min,dur}$  de toute armature de béton armé est de 30 mm pour une classe d'exposition XC4 d'un ouvrage de génie civil de classe structurale S4.

## 5. INVESTIGATIONS SUR LE RESERVOIR SUR TOUR

### 5.1. Examen visuel des désordres

#### 5.1.1. Définition des indices de gravité

Les défauts recensés lors de l'inspection visuelle sont affectés d'un indice en fonction de leur importance, à savoir :

- ✓ **Indice B** : défauts sans conséquence importante autre qu'esthétique ;
- ✓ **Indice C** : défauts qui indiquent qu'une évolution risque de se faire anormalement ;
- ✓ **Indice D** : défauts révélateurs d'une évolution, rangés en deux classes :
  - **D.1.** : défauts qui indiquent un début d'évolution ;
  - **D.2.** : défauts qui indiquent une évolution avancée.
- ✓ **Indice E** : défauts qui traduisent de façon très nette une modification de comportement de la structure et qui mettent en cause la durée de vie de l'ouvrage ;
- ✓ **Indice F** : défauts indiquant la proximité d'un état limite de service et nécessitant soit une restriction d'utilisation, soit la mise hors service de l'ouvrage.



### 5.1.2. Inventaire des désordres

Les désordres visibles affectant les éléments de structure des ouvrages sont présentés dans les tableaux suivants. Leur implantation figure en Annexe 5.

#### ▪ **Type 1 : Epaufures de béton**



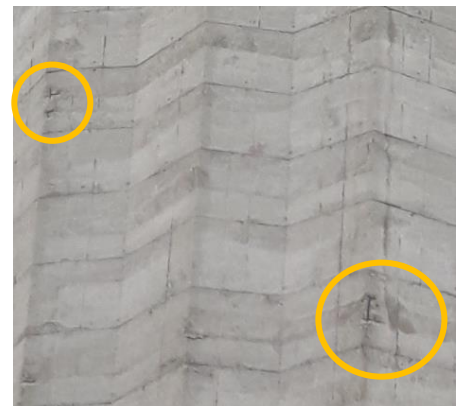
Ces défauts sont dus à un manque d'enrobage qui viennent oxyder les armatures. Les armatures corrodées augmentent de volume, ce qui engendre des contraintes intrinsèques dans le béton d'où des éclatements et des épaufrures.

On distingue :

1.1 : Eclats, cassures, désagrégation du béton		
Description	Indice de gravité	Illustration
<p>⇒ <u>Eclat ponctuel du béton</u></p> <p>Les éclats ont été observés :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ En sous-face de la dalle haute de la cuve, au droit de plusieurs aérations.</li> <li>○ Sur la paroi extérieure du réservoir sur tour, principalement localisée au niveau des faces Ouest et Sud.</li> <li>○ En sous-face et en surface du toit du belvédère.</li> </ul> <p>Couleur désordre : <span style="color: red;">○</span></p>	<b>D1</b>	 <p>Photographie 17 : Epaufure du béton en formation – Paroi extérieure du réservoir sur tour</p>  <p>Photographie 18 : Epaufure du béton – Au droit d'une aération en sous-face de la dalle haute de la cuve</p>


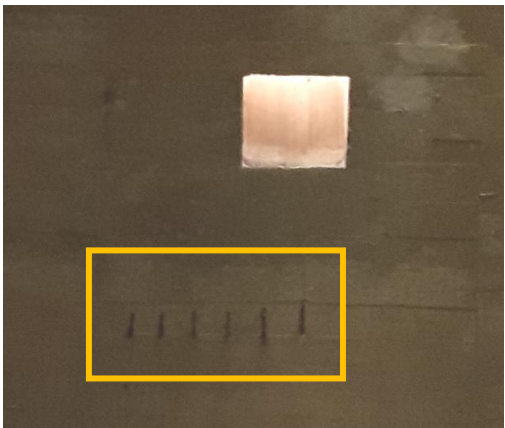
## 1.2 : Armatures apparentes oxydés

La disparition du béton d'enrobage laisse les armatures à nu. La gravité dépend de l'étendue de la zone dégradée et de l'état des armatures.

Description	Indice de gravité	Illustration
<p>Ces désordres ont été observés :</p> <p><u>Paroi extérieure</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Principalement localisé sur les faces Ouest et Sud.</li> <li>○ On retrouve ce désordre à mi-hauteur du réservoir sur tour.</li> </ul> <p>Couleur désordre : <span style="color: red;">●</span></p>	D2 / E	 <p>Photographie 19 : Armatures apparentes – Face Ouest</p>  <p>Photographie 20 : Armature corrodée avec perte de section – Face Ouest</p>  <p>Photographie 21 : Armatures apparentes – Face Sud</p>

## 1.2 : Armatures apparentes oxydés (suite)




La disparition du béton d'enrobage laisse les armatures à nu. La gravité dépend de l'étendue de la zone dégradée et de l'état des armatures.

Description	Indice de gravité	Illustration
<p><u>Dans la cuve :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ En sous-face de la dalle haute de la cuve, de façon localisée.</li> <li>○ En partie haute et en sous-face de la coursive d'accès.</li> </ul> <p>Couleur désordre :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● (Sous-face de la coursive d'accès)</li> <li>● (Sous-face de la dalle haute de la cuve)</li> </ul>	<b>D2</b>	 <p>Photographie 22 : Armatures corrodées – Sous-face de la dalle haute de la cuve</p>  <p>Photographie 23 : Armatures apparentes au droit d'une ouverture de la sous-face de la dalle haute de la cuve</p>



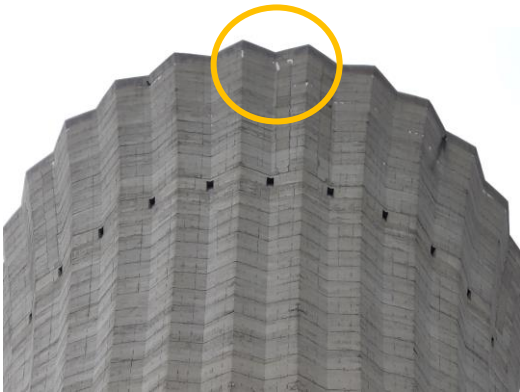


## 1.2 : Armatures apparentes oxydés (suite)

La disparition du béton d'enrobage laisse les armatures à nu. La gravité dépend de l'étendue de la zone dégradée et de l'état des armatures.


Description	Indice de gravité	Illustration
<p><u>Escalier d'accès et Belvédère :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ En sous-face du toit du belvédère.</li> <li>○ Ponctuellement sur le voile circulaire de l'escalier d'accès situé au niveau de la cuve.</li> </ul> <p>Couleur désordre : ●</p>	D2	 <p>Photographie 24 : Armatures corrodées – Sous-face belvédère</p>  <p>Photographie 25 : Armatures corrodées – Sous-face belvédère</p>  <p>Photographie 26 : Armatures corrodées – Escalier d'accès</p>




▪ **Type 2 : Infiltrations**



Infiltrations		
Description	Indice de gravité	Illustration
<p>On retrouve des traces de calcite :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Sur le parement extérieur du réservoir sur tour, principalement en partie haute.</li> <li>○ A l'intérieur de la cuve, de manière très ponctuelle.</li> <li>○ En sous-face de la cuve, de manière relativement prononcée.</li> </ul> <p>Couleur désordre : ❌</p>	D2	 <p>Photographie 27 : Traces de calcite en parement extérieur de la cuve – Face Ouest</p>  <p>Photographie 28 : Traces de calcite en parement intérieur de la cuve</p>  <p>Photographie 29 : Traces de calcite en sous-face de la cuve</p>

▪ **Type 3 : Fissuration**

3.1 Fissuration en parement extérieur de la cuve		
Description	Indice de gravité	Illustration
<p>De légères fissures ont été observées en partie basse du réservoir sur tour.</p> <p>Couleur désordre : <span style="color: orange;">—</span></p>	<b>D1</b>	 <p>Photographie 30 : Fissuration en partie basse du réservoir sur tour</p>

▪ **Type 4 : Défauts d'étanchéité**

4.1 Etanchéité à l'intérieur de la cuve		
Description	Indice de gravité	Illustration
<p>Une dégradation de l'étanchéité à l'intérieur de la cuve avec des zones de cloquage a été repéré de manière sonore.</p> <p>Ces zones de cloquage sont principalement localisées en partie basse et au droit d'anciennes reprises de l'étanchéité.</p> <p>Couleur désordre : <span style="color: blue;">●</span></p>	<b>E</b>	 <p>Photographie 31 : Cloquage de l'étanchéité à l'intérieur de la cuve</p>

4.2 Etanchéité extérieure		
Description	Indice de gravité	Illustration
<p><u>Dôme de la cuve :</u></p> <p>Une légère altération en surface de l'étanchéité extérieure du dôme de la cuve a été observée.</p> <p>On constate également la présence d'un dépôt et de végétation avec stagnation d'eau côté Ouest.</p> <p>Présence peu importante de végétation, mousses et lichens.</p>	D1	 <p>Photographie 32 : Légère altération de l'étanchéité extérieure en surface du dôme</p>  <p>Photographie 33 : Présence de végétation en surface du dôme</p>
<p><u>Belvédère :</u></p> <p>Forte altération de l'étanchéité extérieure du belvédère. De nombreuses zones laissant apparaître le béton.</p> <p>Présence peu importante de mousses et lichens.</p>		 <p>Photographie 34 : Forte altération de l'étanchéité extérieure en surface du belvédère</p>


## 5.2. Sondages et essais in situ


### 5.2.1. Carottage du fût central

8 carottages diamant sous eau, repérés **C9 à C16** et répartis en 2 zones, ont été réalisés sur le fût central du château d'eau.

L'implantation des sondages et essais in-situ figure en Annexe 4.


Les résultats des carottages sont récapitulés dans les tableaux ci-dessous :

<u>Carottage C9</u>				
Situation : Façade Ouest – Parois verticale – Non traversant				
Profondeur (int → ext)	Epaisseur	Description	Observations / Photos	
0.0 / 14.0 cm	14.0 cm	<b>Béton</b> Dmax : 14 mm Bullage faible	Echantillon C9	

<u>Carottage C10</u>				
Situation : Façade Ouest – Parois verticale – Non traversant				
Profondeur (int → ext)	Epaisseur	Description	Observations / Photos	
0.0 / 14.0 cm	14.0 cm	<b>Béton</b> Dmax : 14 mm Bullage faible	Echantillon C10	


### Carottage C11


Situation : Façade Ouest – Parois verticale – Non traversant


Profondeur (int → ext)	Epaisseur	Description	Observations / Photos	
0.0 / 14.0 cm	14.0 cm	<b>Béton</b> Dmax : 14 mm Bullage faible	Echantillon C11	

### Carottage C12

Situation : Façade Ouest – Parois verticale – Non traversant

Profondeur (int → ext)	Epaisseur	Description	Observations / Photos	
0.0 / 14.0 cm	14.0 cm	<b>Béton</b> Dmax : 14 mm Bullage faible	Echantillon C12	


<u>Carottage C13</u>				
Situation : Façade Est – Parois verticale – Non traversant				
Profondeur (int → ext)	Epaisseur	Description	Observations / Photos	
0.0 / 14.5 cm	14.5 cm	<b>Béton</b> Dmax : 14 mm Bullage faible	Echantillon C13	

<u>Carottage C14</u>				
Situation : Façade Est – Parois verticale – Non traversant				
Profondeur (int → ext)	Epaisseur	Description	Observations / Photos	
0.0 / 14.0 cm	14.0 cm	<b>Béton</b> Dmax : 14 mm Bullage faible	Echantillon C14	




### Carottage C15

Situation : Façade Est – Parois verticale – Non traversant

Profondeur (int → ext)	Epaisseur	Description	Observations / Photos	
0.0 / 14.5 cm	14.5 cm	<b>Béton</b> Dmax : 14 mm Bullage faible	Echantillon C15	

### Carottage C16

Situation : Façade Est – Parois verticale – Non traversant

Profondeur (int → ext)	Epaisseur	Description	Observations / Photos	
0.0 / 14.0 cm	14.0 cm	<b>Béton</b> Dmax : 14 mm Bullage faible	Echantillon C16	



### 5.2.2. Mesures d'enrobage et profondeur de carbonatation

L'enrobage des armatures des éléments en béton armé du château d'eau a été reconnu par auscultation pachométrique. La profondeur de carbonatation a été évaluée par tests de réactivité à la phénolphthaléine sur des percements frais.

A partir de ces résultats, une analyse statistique a été réalisée sur l'enrobage des armatures en admettant la bonne représentativité des mesures effectuées. L'application de la loi normale permet d'évaluer la proportion d'aciers faiblement enrobés ou situés en zone carbonatée pour laquelle un processus de corrosion est susceptible de se développer.

Les résultats de ces essais ainsi que les analyses des zones testées sont récapitulés dans les tableaux ci-dessous :

Zone n°1 : Sous-face de dôme									
Auscultations pachométriques et mesure de la profondeur de carbonatation									
Localisation	Auscultation		Aciers			Enrobage [mm]		Profondeur de carbonatation [mm]	Proportion d'aciers situés en zone carbonée
	N° Fichier	Long. [m]	Sens	Nb	Esp. [mm]	Min.	Moy.		
Zone n°1 Sous-face De dôme	7718	1.39	Armatures Verticales [RL Ø8 mm]	10	150	27	37	7	0 %
	7719	1.33		8	145	33	41		
	7720	1.22	Armatures Horizontales [RL Ø8 mm]	9	140	37	47		0 %
	7721	1.13		10	115	36	46		

Zone n°2 : Sous-face de dôme									
Auscultations pachométriques et mesure de la profondeur de carbonatation									
Localisation	Auscultation		Aciers			Enrobage [mm]		Profondeur de carbonatation [mm]	Proportion d'aciers situés en zone carbonée
	N° Fichier	Long. [m]	Sens	Nb	Esp. [mm]	Min.	Moy.		
Zone n°1 Sous-face De dôme	7727	0.62	Armatures Verticales [RL Ø8 mm]	7	85	14	20	5	0 %
	7722	0.99		6	145	28	34		
	7724	-	Armatures Horizontales [RL Ø8 mm]	-	-	-	-		0 %
	7725	1.02		8	120	15	25		

➤ Commentaires :

Nous rappelons que, selon l'article 4.4.1 de l'Eurocode 2 Partie 1-1 et son Annexe Nationale, l'enrobage minimal  $C_{min,dur}$  de toute armature de béton armé est de 25 mm pour une classe d'exposition XC3 d'un ouvrage de génie civil de classe structurale S4.

- Sous-face de dôme – Zone n°1 :

Au droit des zones étudiées, les enrobages moyens mesurés sont bons, voire ponctuellement importants, avec des valeurs comprises entre 27 et 79 mm. La profondeur du front de carbonatation mesurée est de 7 mm depuis la surface du parement béton.

Concernant les aciers verticaux et horizontaux, les analyses statistiques montrent une probabilité nulle d'avoir des aciers situés en zone carbonatée.

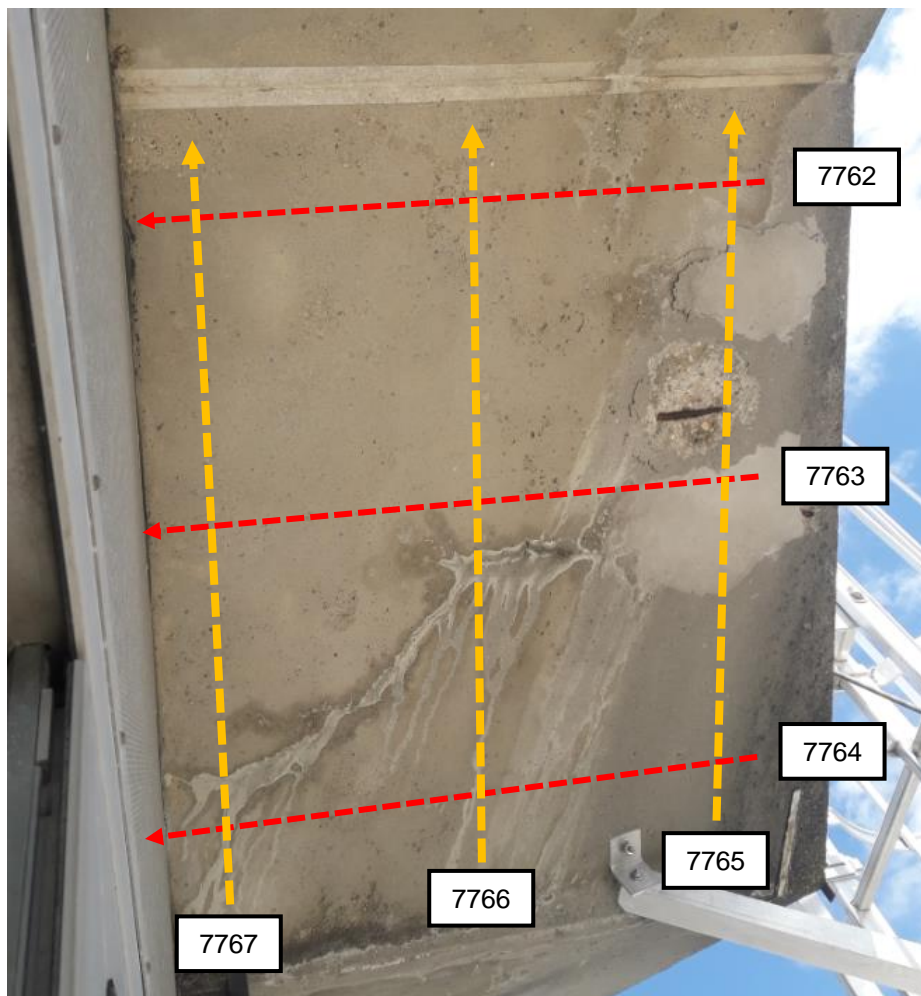
- Sous-face de dôme – Zone n°2 :

Au droit des zones étudiées, les enrobages moyens mesurés sont faibles à correctes, avec ponctuellement des valeurs faibles, avec des valeurs comprises entre 14 et 41 mm. La profondeur du front de carbonatation mesurée est de 5 mm depuis la surface du parement béton.

Concernant les aciers verticaux et horizontaux, les analyses statistiques montrent une probabilité nulle d'avoir des aciers situés en zone carbonatée.

### Zone n°1 : Belvédère

#### Photographie de la zone d'étude

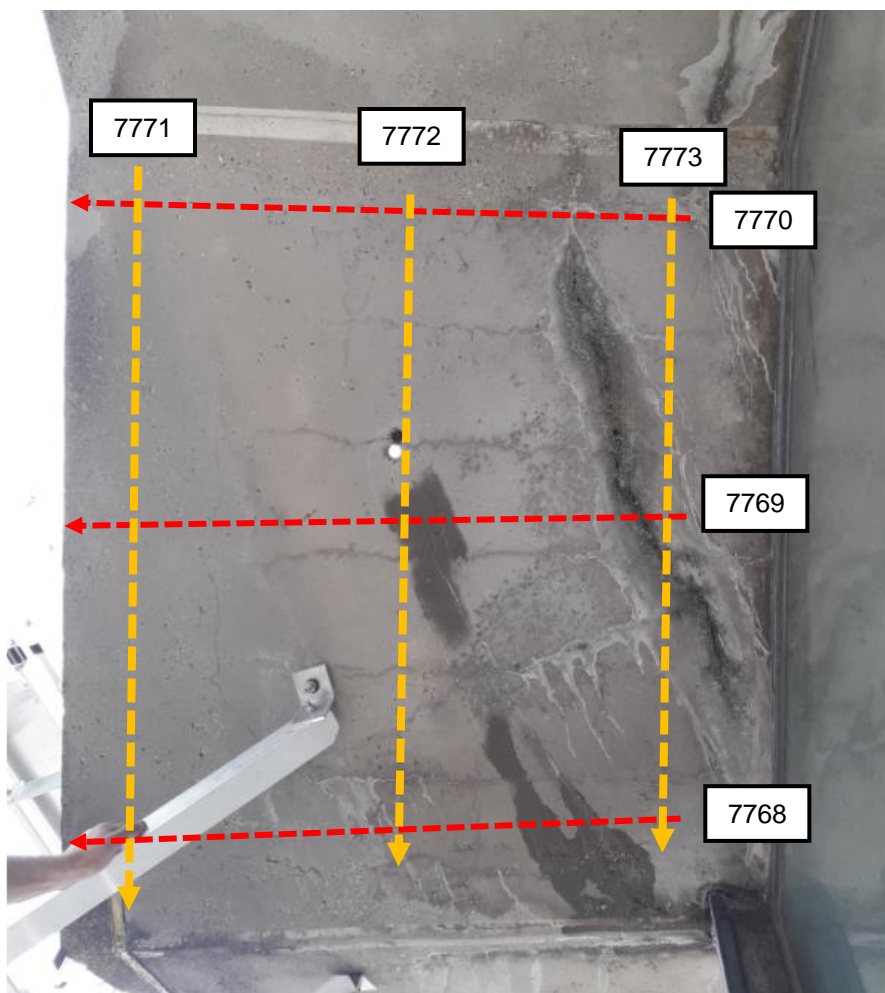


#### Auscultations pachométriques et mesure de la profondeur de carbonatation

Localisation	Auscultation		Aciers			Enrobage [mm]		Profondeur de carbonatation [mm]	Proportion d'aciers situés en zone carbonée
	N° Fichier	Long. [m]	Sens	Nb	Esp. [mm]	Min.	Moy.		
Zone n°1 Belvédère	7762	1.02	Sens Porteur [RL Ø8 mm]	5	200	15	16	20	42 %
	7763	1.00		5	195	17	20		
	7764	1.00		5	195	22	26		
	7765	1.00	Sens Répartition [RL Ø8 mm]	5	195	11	12		100 %
	7766	0.91		5	180	9	13		
	7767	0.91		5	170	12	14		

## Zone n°2 : Belvédère

### Photographie de la zone d'étude



### Auscultations pachométriques et mesure de la profondeur de carbonatation

Localisation	Auscultation		Aciers			Enrobage [mm]		Profondeur de carbonatation [mm]	Proportion d'aciers situés en zone carbonée
	N° Fichier	Long. [m]	Sens	Nb	Esp. [mm]	Min.	Moy.		
Zone n°2 Belvédère	7768	0.90	Sens Porteur [RL Ø8 mm]	5	200	17	20	45	100 %
	7769	1.07		6	200	17	24		
	7770	1.04		4	205	24	25		
	7771	1.09	Sens Répartition [RL Ø8 mm]	5	195	16	18		100 %
	7772	1.15		7	180	7	14		
	7773	1.03		6	170	9	11		

➤ Commentaires :

Nous rappelons que, selon l'article 4.4.1 de l'Eurocode 2 Partie 1-1 et son Annexe Nationale, l'enrobage minimal  $C_{min,dur}$  de toute armature de béton armé est de 25 mm pour une classe d'exposition XC3 d'un ouvrage de génie civil de classe structurale S4.

- Belvédère – Zone n°1 :

Au droit des zones étudiées, les enrobages moyens mesurés sont relativement faibles avec des valeurs comprises entre 12 et 26 mm. La profondeur du front de carbonatation mesurée est de 20 mm depuis la surface du parement béton.

Concernant les aciers situés dans le sens porteur, les analyses statistiques montrent des proportions d'aciers, situés en zone carbonatée, modérées (42%).

Concernant les aciers de répartition, les analyses statistiques montrent une probabilité de 100% d'avoir des aciers situés en zone carbonatée.

- Belvédère – Zone n°2 :

Au droit des zones étudiées, les enrobages moyens mesurés sont relativement faibles avec des valeurs comprises entre 11 et 25 mm. La profondeur du front de carbonatation mesurée est de 45 mm depuis la surface du parement béton.

Concernant les aciers situés dans le sens porteur et les aciers de répartition, les analyses statistiques montrent une probabilité de 100% d'avoir des aciers situés en zone carbonatée.

Auscultations pachométriques et mesure de la profondeur de carbonatation									
Localisation	Auscultation		Aciers			Enrobage [mm]		Profondeur de carbonatation [mm]	Proportion d'aciers situés en zone carbonée
	N° Fichier	Long. [m]	Sens	Nb	Esp. [mm]	Min.	Moy.		
Zone n°1 Extérieur Façade Ouest	7731	1.21	Armatures Verticales [RL Ø8 mm]	6	195	60	70	0	0 %
	7728	1.09		3	360	58	65		
	7730	0.65		2	345	47	50		
	7732	0.65	Armatures Horizontales [RL Ø8 mm]	2	300	36	46		0 %
	7733	1.00		3	310	14	46		
	7734	0.59		2	315	51	53		
Zone n°2 Extérieur Façade Ouest	7736	1.02	Armatures Verticales [RL Ø8 mm]	4	255	35	50	16	0 %
	7737	1.10		4	250	48	62		
	7738	0.48		1	-	-	66		
	7739	0.35		1	-	-	45		
	7741	0.90	Armatures Horizontales [RL Ø8 mm]	3	310	37	46		0 %
	7742	0.81		3	295	27	33		
Zone n°3 Extérieur Façade Ouest	7744	0.97	Armatures Verticales [RL Ø8 mm]	3	345	36	47	40	27 %
	7745	1.00		3	345	36	43		
	7746	0.69		2	350	46	47		
	7747	0.53		1	-	-	41		
	7751	1.04	Armatures Horizontales [RL Ø8 mm]	4	280	15	22		91 %
	7748	1.06		4	300	25	31		
	7749	1.26		3	305	34	36		
	7750	0.81		3	275	30	31		

Auscultations pachométriques et mesure de la profondeur de carbonatation									
Localisation	Auscultation		Aciers			Enrobage [mm]		Profondeur de carbonatation [mm]	Proportion d'aciers situés en zone carbonée
	N° Fichier	Long. [m]	Sens	Nb	Esp. [mm]	Min.	Moy.		
Zone n°4 Extérieur Façade Est	7757	1.27	Armatures Verticales [RL Ø8 mm]	4	270	13	21	40	42 %
	7756	-		-	-	-	-		
	7755	1.27		4	295	63	69		
	7758	1.23	Armatures Horizontales [RL Ø8 mm]	4	295	50	58		1 %
	7760	1.08		4	330	45	57		
	7761	1.21		4	315	64	69		



➤ Commentaires :

Nous rappelons que, selon l'article 4.4.1 de l'Eurocode 2 Partie 1-1 et son Annexe Nationale, l'enrobage minimal  $C_{min,dur}$  de toute armature de béton armé est de 30 mm pour une classe d'exposition XC4 d'un ouvrage de génie civil de classe structurale S4.

- Façade Ouest – Zone n°1 :

Au droit de cette zone étudiée, les enrobages moyens mesurés sont bons, voire ponctuellement importants, avec des valeurs comprises entre 46 et 70 mm. Les profondeurs du front de carbonatation mesurées sont de 0 mm depuis la surface du parement béton.

Concernant les aciers verticaux et horizontaux, les analyses statistiques montrent une probabilité nulle d'avoir des aciers situés en zone carbonatée.

- Façade Ouest – Zone n°2 :

Au droit de cette zone étudiée, les enrobages moyens mesurés sont bons, voire ponctuellement importants, avec des valeurs comprises entre 33 et 66 mm. Les profondeurs du front de carbonatation mesurées varient de 0 à 16 mm depuis la surface du parement béton.

Concernant les aciers verticaux et horizontaux, les analyses statistiques montrent une probabilité nulle d'avoir des aciers situés en zone carbonatée.

- Façade Ouest – Zone n°3 :

Au droit de cette zone étudiée, les enrobages moyens mesurés sont corrects, avec des valeurs comprises entre 23 et 47 mm. Les profondeurs du front de carbonatation mesurées varient de 15 à 40 mm depuis la surface du parement béton.

Concernant les aciers verticaux, les analyses statistiques montrent des proportions d'aciers, situés en zone carbonatée, faibles (27%).

Concernant les aciers horizontaux, les analyses statistiques montrent des proportions très élevées d'aciers situés en zone carbonatée (91%).

- Façade Est – Zone n°4 :

Au droit de cette zone étudiée, les enrobages moyens mesurés sont relativement corrects, voire ponctuellement importants, avec des valeurs comprises entre 21 et 69 mm. Les profondeurs du front de carbonatation mesurées varient de 20 à 40 mm depuis la surface du parement béton.

Concernant les aciers verticaux, les analyses statistiques montrent des proportions d'aciers, situés en zone carbonatée, modérées (42%).

Concernant les aciers horizontaux, les analyses statistiques montrent une probabilité quasi nulle d'avoir des aciers situés en zone carbonatée (1%).

### 5.2.3. Mesures de potentiel électrochimique

➤ Préambule :

En fonction de l'état visuel des différentes armature mises à nu, l'ensemble des mesures effectuées et les gradients locaux détectés nous amènent à évaluer le potentiel de corrosion (E) de la manière suivante :

Légende :

Valeur E [mV/ECS]	Evaluation
100	Forte probabilité de non corrosion
50	
0	
-50	Faible probabilité de corrosion
-100	
-150	
-200	Zone douteuse suivant des gradients locaux, à probabilité de corrosion faible à forte
-250	
-300	
-350	Forte probabilité de corrosion active
-400	
-450	
-500	

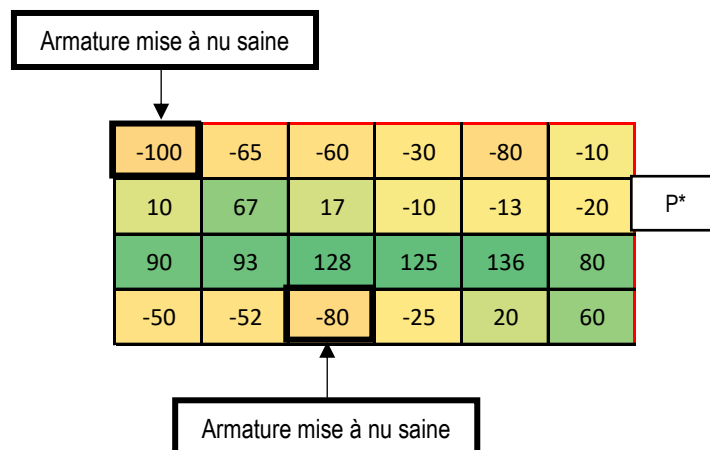
➤ Résultats :

La présentation des zones d'essais et des résultats des mesures de potentiel électrochimique est donnée dans les tableaux ci-après.

### Zone 1 : Face Nord-Ouest [Z ~42.5 m]

#### Cartographie des potentiels électrochimiques

Un maillage de 15 x 15 cm a été utilisé lors de l'essai (entre 2 points de mesure) :

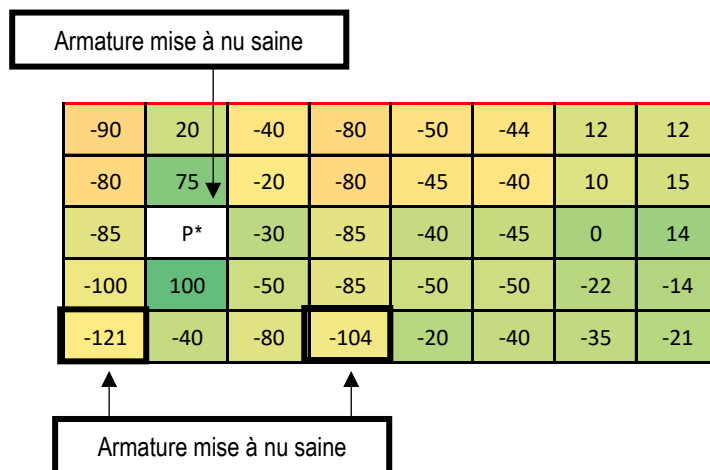


\*P : Pince

### Zone 2 : Face Nord-Ouest [Z ~30 m]

#### Cartographie des potentiels électrochimiques

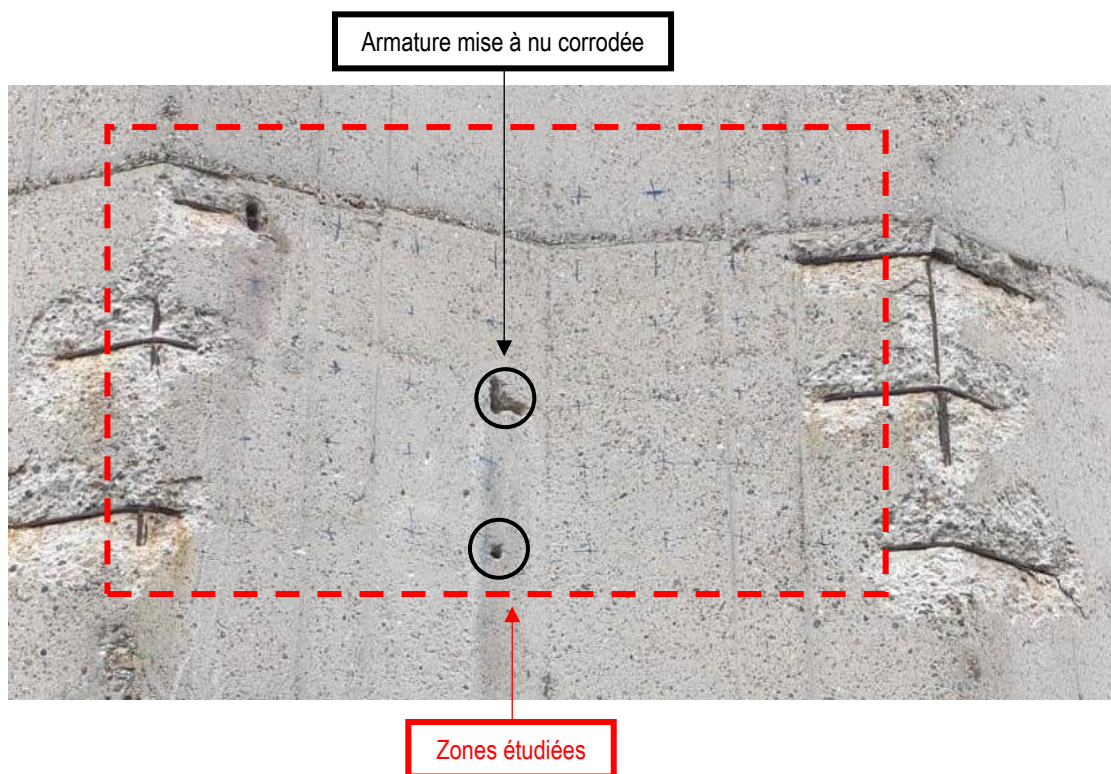
Un maillage de 15 x 15 cm a été utilisé lors de l'essai (entre 2 points de mesure) :



\*P : Pince

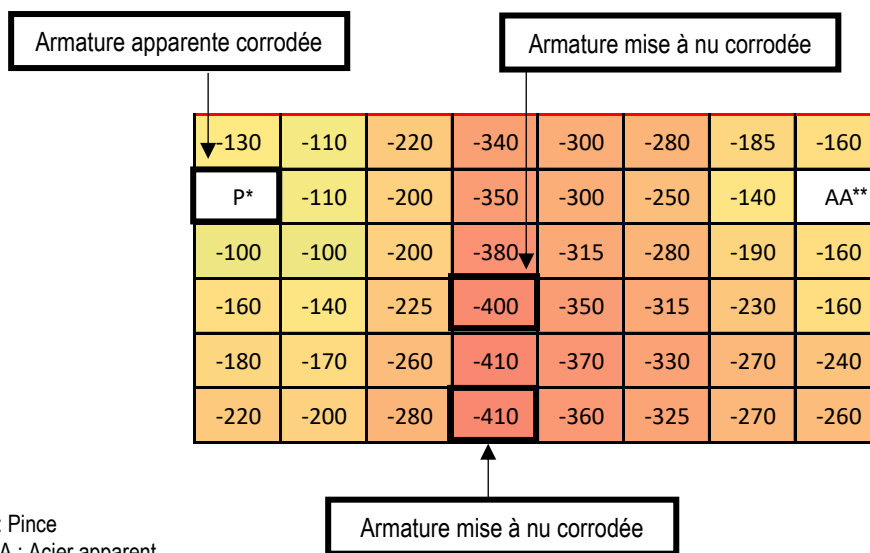
### Zone 3 : Face Nord-Ouest [Z ~15.5 m]

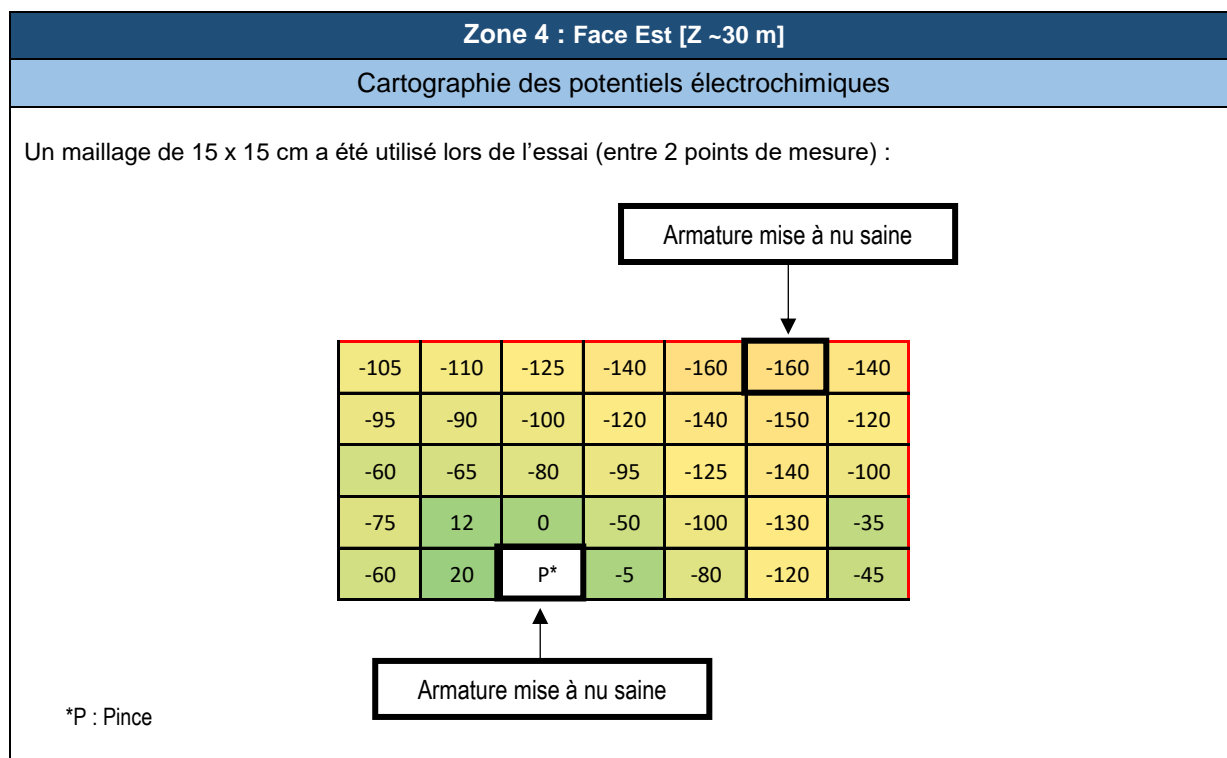
#### Photographie de la zone étudiée



#### Cartographie des potentiels électrochimiques

Un maillage de 15 x 15 cm a été utilisé lors de l'essai (entre 2 points de mesure) :





➤ Commentaires :

Les résultats des zones 1 à 4 étudiées par mesures de potentiel électrochimique montrent qu'en dehors des zones visuellement altérées (épaufrures des bétons, armatures apparentes corrodées) la probabilité de corrosion active est faible.

Les sondages confirment les résultats obtenus.

#### 5.2.4. Essais d'arrachement

Vingt-six essais d'arrachement ont été réalisés en différents endroits des bâches, locaux d'aspersions et de la cuve, notés **A1** à **A26**, selon l'implantation donnée en annexe 1 et 4.

Les résultats de ces essais sont donnés dans le tableau suivant :

Zone	Repère	Force de rupture [kN]	Diamètre pastille [mm]	Résistance [MPa]	Type de rupture
Bâche n°1	A1	0.32	Ø20	1.02	Rupture adhésive peinture/mortier
	A2	0.34	Ø50	0.17	Rupture adhésive pastille/béton
Bâche n°2	A3	1.34	Ø50	0.68	Rupture adhésive pastille/béton
	A4	0.25	Ø20	0.80	Rupture adhésive peinture/mortier
Bâche n°3	A5	0.20	Ø20	0.64	Rupture adhésive mortier/béton
	A6	2.06	Ø50	1.05	Rupture adhésive pastille/béton
Bâche n°4	A7	2.52	Ø50	1.28	Rupture adhésive pastille/béton
	A8	0.10	Ø20	0.32	Rupture cohésive du mortier
Aspersion n°1	A9	0.10	Ø20	0.32	Rupture adhésive peinture/mortier
	A10	1.32	Ø50	0.67	Rupture adhésive pastille/béton
	A11	0.15	Ø20	0.48	Rupture cohésive du mortier
Aspersion n°2	A12	0.10	Ø20	0.32	Rupture adhésive peinture/mortier
	A13	0.54	Ø50	0.28	Rupture adhésive pastille/béton
	A14	0.10	Ø20	0.32	Rupture adhésive peinture/mortier
Cuve Conduit	A15	1.14	Ø50	0.58	Rupture adhésive pastille/mortier
	A16	1.03		0.52	Rupture adhésive pastille/mortier
Cuve Fond	A17	0.98		0.50	Rupture adhésive mortier/béton
	A18	1.61		0.82	Rupture adhésive mortier/béton
	A19	2.04		1.04	Rupture adhésive pastille/mortier
	A20	0.87		0.44	Rupture adhésive pastille/béton
Cuve Paroi	A21	< 0.1		<0.05	Rupture adhésive pastille/béton
	A22	0.99		0.50	Rupture adhésive pastille/mortier
	A23	0.90		0.46	Rupture adhésive pastille/mortier
	A24	< 0.1		<0.05	Rupture adhésive pastille/mortier
Cuve Sous-face	A25	0.91		0.46	Rupture adhésive pastille/béton
	A26	0.46		0.23	Rupture adhésive pastille/béton

Des essais d'arrachement ont également été réalisés en 2019 par la société ETANDEX. Les résultats de ces essais sont présentés en annexe 8.

## 6. ESSAIS EN LABORATOIRE

### 6.1. Essais de compression sur carottes béton

Des essais de compression sur échantillons de béton prélevés sur le fût central du château d'eau ont été réalisés au laboratoire Ginger CEBTP de Bordeaux suivant la procédure d'essai décrite dans la norme EN 12390-3. Après tronçonnage, séchage et surfacage des bases à l'aide d'un enduit de soufre, les carottes prélevées ont fait l'objet d'un essai de résistance en compression à l'aide d'une presse à béton 3R de capacité 3000 kN. Les résultats sont donnés ci-dessous :

	<b>ESSAIS POUR BETON DURCI - PARTIE 3 : RESISTANCE A LA COMPRESSION DES EPROUVETTES SUIVANT LA NORME NF EN 12390-3</b>
---	--

Données - Résultats									
Réf.	Caractéristiques éprouvettes			Résultats essais			Vitesse du son		
		Diamètre $\phi$ (mm)	Hauteur h (mm)	Masse M (g)	Densité apparente $\rho_d$ (T/m <sup>3</sup> )	Charge rupture F <sub>c</sub> (kN)	Rc carotte (MPa)	Temps de Propagation ( $\mu$ s)	V (m/s)
Bâche	C1	100	99	1974.2	2.539	521.3	66.4	-	-
	C3	100	100	2002.0	2.549	400.3	51.0	-	-
	C4	100	99	1936.3	2.490	436.1	55.5	-	-
Aspersión	C5	100	98	1844.0	2.396	399.1	50.8	-	-
	C6	100	99	1868.9	2.404	417.2	53.1	-	-
	C7	100	102	1953.6	2.439	507.9	64.7	-	-
Fût	C10	100	98	1754.5	2.279	326.3	41.5	-	-
	C11	100	99	1780.6	2.290	273.5	34.8	-	-
	C12	100	99	1734.1	2.230	235.4	30.0	-	-
	C14	100	98	1783.2	2.317	314.4	40.0	-	-
	C15	100	98	1731.1	2.249	264.3	33.7	-	-
	C16	100	98	1739.5	2.260	323.1	41.1	-	-

#### Synthèse (selon l'approche B de la norme NF EN 13791)

La norme européenne NF EN 13791/CN de 2007 présente les techniques d'estimation de la résistance à la compression sur site des structures en béton et des éléments préfabriqués en béton. Suivant cette norme, **f<sub>ck, is</sub>** est la plus faible des deux valeurs suivantes :

$$f_{ck, is} = f_{m(n), is} - k \quad [1]$$

$$f_{ck, is} = f_{is, plus faible} + 4 \quad [2]$$

Avec :

**f<sub>ck, is</sub>** : résistance caractéristique à la compression sur site

**f<sub>m(n), is</sub>** : moyenne de la résistance à la compression sur site de n résultats d'essais

**f<sub>is, plus faible</sub>** : Valeur de résistance minimale

**k** dépend du nombre de résultats d'essais. (cf tableau ci-dessous)

n	k
de 10 à 14	5
de 7 à 9	6
de 3 à 6	7



L'interprétation des résultats est récapitulée dans le tableau suivant:

Ouvrage	Résistance moyenne $f_m(n)$ , is [MPa]	Résistance minimale $f_{is}$ , plus faible [MPa]	Résistance caractéristique $f_{ck}$ , is [MPa]	
			Selon [1]	Selon [2]
Bache	57.6	51.0	50.6	55.0
Aspersión	56.2	50.8	49.2	54.8
Fût	36.9	30.0	29.9	34.0

#### Interprétation


Suivant le tab.1 de l'art.6 de NF EN 13791/CN la classe de résistance à la compression du béton équivalente, selon l'EN 206/CN, serait :

Ouvrage	Classe de résistance
Bache	C45/55
Aspersión	C45/55
Fût	C25/30

## 6.2. Mesures de porosité sur échantillons de béton

Des mesures de porosité sur échantillons de béton prélevés sur les bâches, les locaux d'aspersion et le fût central du château d'eau ont été réalisés au laboratoire Ginger CEBTP de Bordeaux suivant la procédure d'essai décrite dans la norme NF P18-459.

Les résultats figurent dans le tableau suivant :

	<b>DETERMINATION DE LA MASSE VOLUMIQUE APPARENTE ET DE LA POROSITE SELON LA NORME NF P18-459 - DURABILITE DES BETONS</b>
---	--

Données - Résultats										
Réf.		Poids sec (g)	Poids immergé (g)	Poids humide (g)	A	B	C	Porosité (%)	Masse volumique réelle (g/cm3)	Masse volumique apparente (g/cm3)
		M1	M2	M3	[M3-M1]	[M3-M2]	[M1-M2]			
Bâche	C2	1899.4	1202.4	1970.6	71.2	768.2	697.0	9.3	2.725	2.473
Aspersion	C8	1379.4	843.4	1444.4	65.0	601.0	536.0	10.8	2.574	2.295
Fût	C9							14.7		
	C13							15.3		

### Interprétation

Pour notre part et sur le plan physique de la porosité, nous considérons la qualité du béton comme suit :

Porosité	Appréciation
<13.0	excellente
13-15	très bonne
15-17	bonne
17-19	moyenne
19-21	très moyenne
21-23	médiocre
> 23	mauvaise

### 6.3. Mesure de teneur en chlorures sur échantillons de béton

9 prélèvements de poudre de béton (P1 à P9) ont été prélevés par percement au droit de zones d'investigations. Ces échantillons et prélèvements ont été soumis à des analyses chimiques pour dosages en chlorures sur les tranches 0,5 – 1,5 cm, 1,5 – 2,5 cm et 2,5 – 3,5 cm à l'intérieur et l'extérieur du château d'eau au laboratoire interne d'Elancourt (78). Le rapport intégral est donné en Annexe 7.

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

Références	% silice	% ciment*	% Cl <sub>libres</sub>	% Cl <sub>libres</sub> / ciment
Poudre Zone n°1 – Cuve – P1 (0,5 - 1,5 cm)	3,30	14,5	0,007	<b>0,04</b>
Poudre Zone n°1 – Cuve – P2 (1,5 - 2,5 cm)	4,19	18,4	0,003	<b>0,02</b>
Poudre Zone n°1 – Cuve – P3 (2,5 - 3,5 cm)	3,79	16,6	0,004	<b>0,02</b>
Poudre Zone n°2 – Cuve – P4 (0,5 - 1,5 cm)	3,95	17,3	0,004	<b>0,02</b>
Poudre Zone n°2 – Cuve – P5 (1,5 - 2,5 cm)	4,43	19,4	0,006	<b>0,03</b>
Poudre Zone n°2 – Cuve – P6 (2,5 - 3,5 cm)	4,84	21,2	0,004	<b>0,02</b>
Poudre Zone n°3 – Paroi extérieure – P7 (0,5 - 1,5 cm)	2,30	10,1	0,015	<b>0,15</b>
Poudre Zone n°3 – Paroi extérieure – P8 (1,5 - 2,5 cm)	2,84	12,5	0,024	<b>0,19</b>
Poudre Zone n°3 – Paroi extérieure – P9 (2,5 - 3,5 cm)	3,15	13,8	0,008	<b>0,06</b>

\* : La teneur en ciment est calculée par analogie avec les analyses chimiques des bétons à cœur.

- Commentaires :

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.2.8 de la norme NF EN 206/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 neuf poudres de béton analysées présentent des teneurs en chlorures libres inférieures à la teneur critique.

#### 6.4. Analyses chimiques

Le rapport intégral est fourni en Annexe 7. La synthèse des résultats des analyses chimiques est rapportée dans le tableau suivant :

La synthèse des résultats des analyses chimiques est rapportée dans le tableau suivant :

Désignation	Béton n°1 (façade est C13)	Béton n°2 (façade ouest C9)
Dosage en ciment (kg/m³)*	355	290
Porosité à cœur (% volumes de vides)	15,3	14,7
Rapport E/C	0,50 – 0,60	0,55 – 0,70
Taux d'hydratation (%) **	99	100

\* : Ces estimations ont été faites à partir de l'hypothèse des inertes en considérant les charges essentiellement siliceuses.

\*\* : Ces taux d'hydratation ont été déterminés en considérant que l'hydratation maximale des ciments est de 25 %. Les bétons ne présentent pas de défaut d'hydratation.

- Commentaires :

L'observation microstructurale de l'échantillon de béton n°1 (façade est C13) a mis en évidence :

- Des charges majoritairement siliceuses et plus faiblement calcaires et feldspathiques,
- La présence d'additions de type laitier,
- L'absence d'additions de type cendres volantes.

Le ciment serait de type CEM II à base de laitier ou CEM III.

On constate une différence de rapport E/C entre l'échantillon C13 et C9. L'échantillon C9 présente un rapport E/C plus élevée.

## 7. CONCLUSION

### 7.1. Synthèse et analyse

La présente mission porte sur le diagnostic structural du réservoir sur tour, des bâches et locaux d'aspersions situés sur la commune de PESSAC (33).

#### 7.1.1. Bâches et locaux d'aspersion

##### 7.1.1.1. Présentation générale

Les différents éléments constituant les bâches et locaux d'aspersion sont présentés sur la coupe en élévation et les vues en plans ci-après.

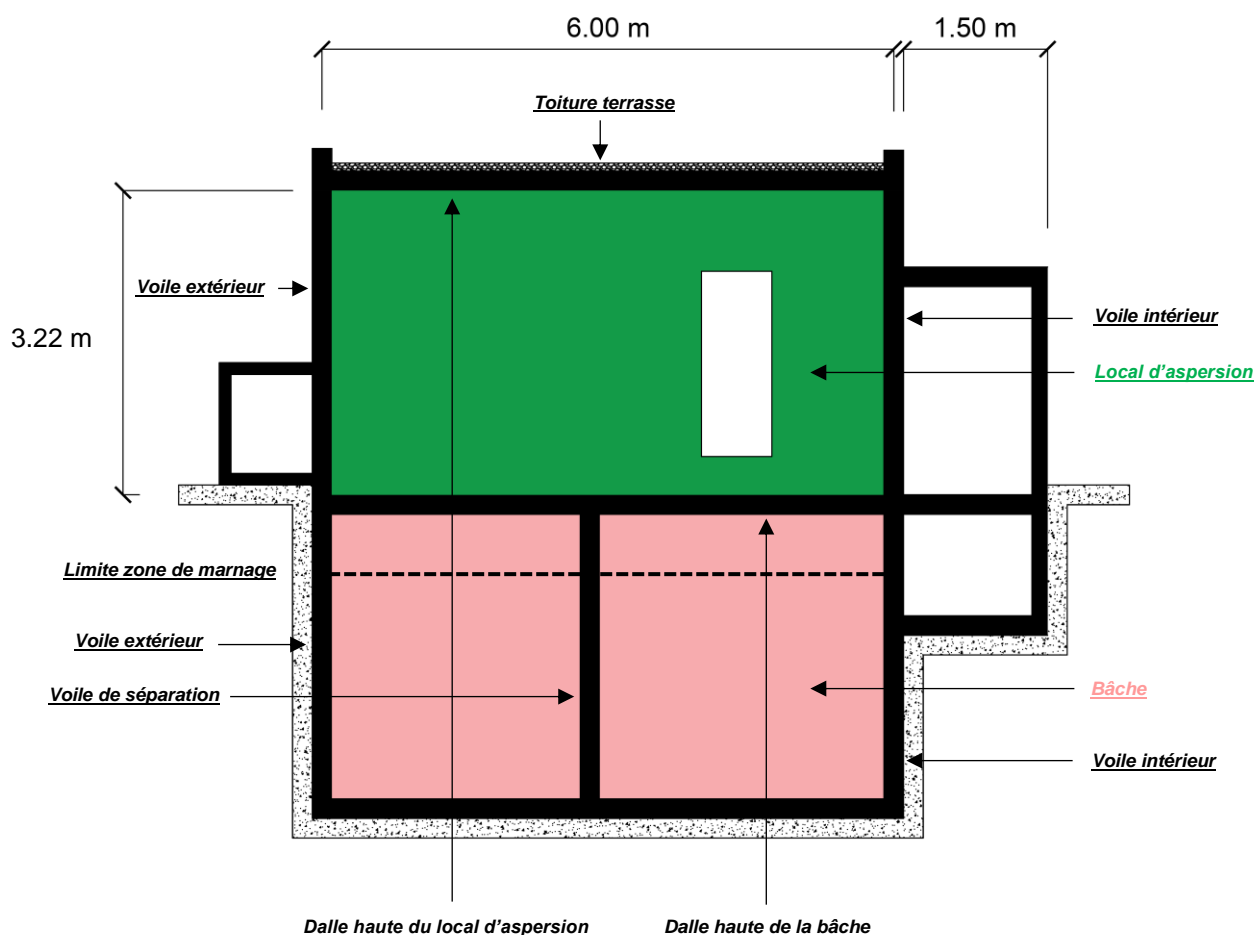


Figure 5 : Coupe en élévation descriptive d'une bâche et de son local d'aspersion

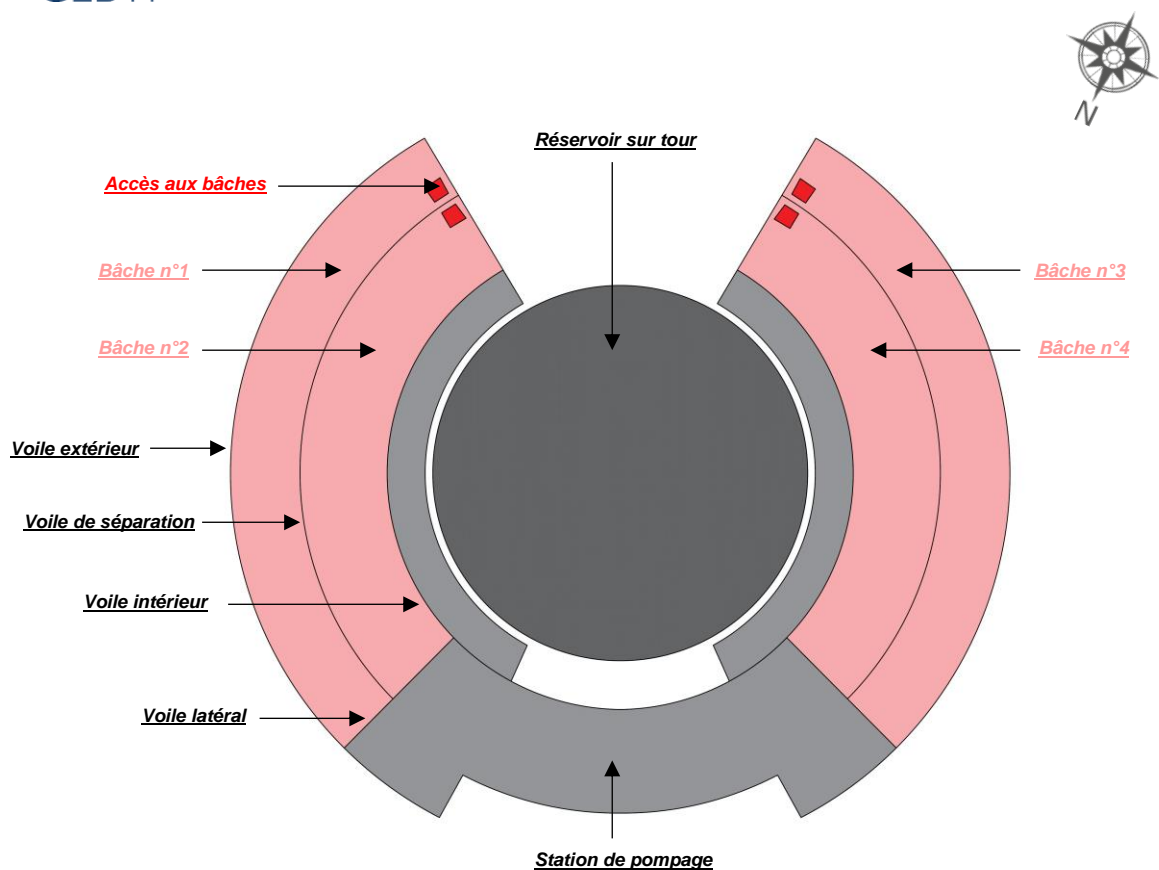


Figure 6 : Vue en plan des bâches

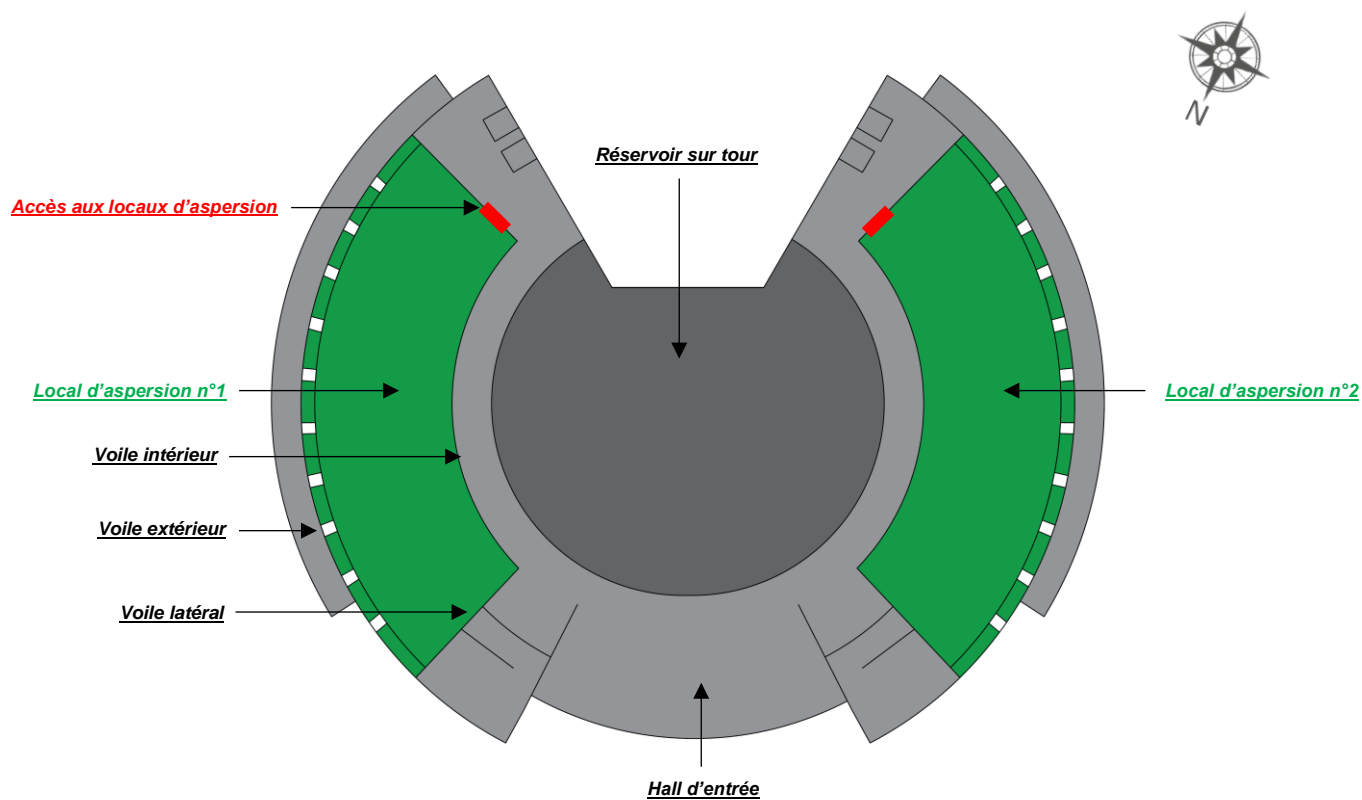


Figure 7 : Vue en plan des locaux d'aspersion

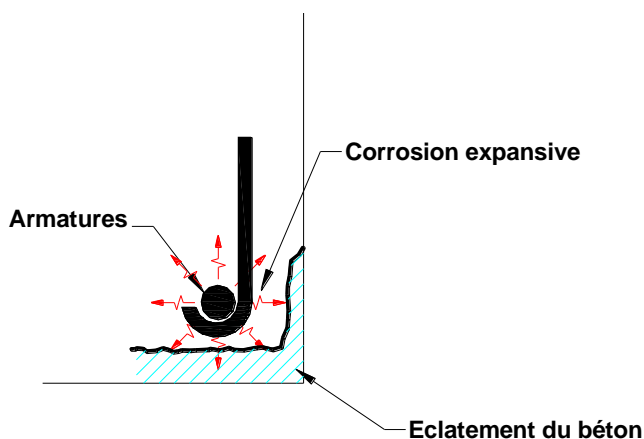
### 7.1.1.2. Examen visuel

Les principaux désordres visibles affectant les bâches et locaux d'aspersions sont :

- Désordre de type 1.1 : Des éclats de béton
  - En partie haute, le voile de séparation entre les bâches n°3 et n°4. Cet éclat, proche de l'échelle à crinoline, se situe au bord d'un passage de gaine.
  - Affectant une des aérations du local d'aspersion n°2.
- Désordre de type 1.2 : Des épaufrures de béton avec des aciers apparents corrodés
  - Affectant la sous-face des dalles hautes des bâches n°3 et n°4. Ce désordre est principalement localisé aux abords des échelles à crinoline d'accès.
  - Affectant plusieurs aérations situées sur le voile nord-est de la salle d'aspersion n°2.

Ces principales dégradations affectant ces ouvrages résultent du phénomène de corrosion des armatures. Lorsqu'une armature se corrode, elle subit une dissolution plus ou moins localisée, mais se recouvre de produits de corrosion (rouille classique de couleur rougeâtre) instables.

Ces produits de corrosion gonflent en déformant fortement l'enrobage et, sous l'effet d'une pression, finissent par fissurer le béton ou par provoquer des éclatements (épaufrures).



Ce phénomène de corrosion a pour origine la concomitance de plusieurs paramètres influant sur la durabilité. Dans le cas présent, on ne connaît pas l'origine (carbonatation, présence de chlorures, humidité, ...).



- Désordre de type 2 : Des infiltrations (traces de calcite)
  - En sous-face des dalles hautes des bâches et des locaux d'aspersion, localisées au droits des fissures.
  - Sur la paroi intérieure des voiles intérieurs et extérieurs des salles d'aspersion, de façon très localisée, au droit de certaines fissures.

- Désordre de type 3 : Fissuration d'élément en béton

Une fissuration des éléments en béton armé (voiles et dalles) a été observée à l'intérieur des bâches et des locaux d'aspersions :

- 1 fissure horizontale le long des voiles (intérieurs, extérieurs et latéraux), situées à 40 cm depuis la sous-face de la dalle haute des salles d'aspersion.
  - 11 fissures transversales traversantes situées en sous-face de la dalle haute de la salle d'aspersion n°1.
  - 9 fissures verticales réparties sur le voile périphérique de la salle d'aspersion n°1.
  - 11 fissures transversales traversantes situées en sous-face de la dalle haute de la salle d'aspersion n°2.
  - 12 fissures verticales réparties sur les voiles (intérieur, extérieur et latéraux) de la salle d'aspersion n°2.
  - Une zone de faïençage du béton a été observée en sous-face de la dalle haute de la salle d'aspersion n°1.
- Désordre de type 4 : Défauts d'étanchéité
  - Une dégradation de l'étanchéité, à l'intérieur des bâches et des locaux d'aspersions, a été observée avec des zones de cloquage avec disparition du revêtement laissant apparaître le support mortier.
  - L'étanchéité du toit-terrasse présente certains signes de vieillissement.
- Désordre de type 5 : Dégradations des équipements
  - Certaines conduites situées à l'intérieur des bâches présentes des marques de corrosion.

L'implantation des désordres visibles affectant les éléments de structure des bâches et locaux d'aspersion est présentée en Annexe 2.

### 7.1.1.3. Reconnaissance structurelle

Les voiles reconnus des bâches et des locaux d'aspersion sont des voiles en béton armé. Les investigations sur site mettent en évidence les points suivants :

- Pour les bâches :
  - Le voile est armé par une nappe d'armature composée d'aciers verticaux de type RL Ø8 mm espacés de 15 à 18.5 cm en moyenne et d'aciers horizontaux de type HA Ø12 mm.
  - Les enrobages moyens des aciers présents sont corrects avec des valeurs comprises entre 15 et 80 mm depuis le parement extérieur béton.
- Pour les salles d'aspersions :
  - Le voile est armé par une nappe d'armature composée d'aciers verticaux de type RL Ø8 mm espacés de 15.5 à 20.5 cm en moyenne et d'aciers horizontaux de type RL Ø8 mm.
  - Les enrobages moyens des aciers présents sont corrects avec des valeurs comprises entre 35 et 115 mm.

Nous rappelons que, selon l'article 4.4.1 de l'Eurocode 2 Partie 1-1 et son Annexe Nationale, l'enrobage minimal  $C_{min,dur}$  de toute armature de béton armé est de 30 mm pour une classe d'exposition XC4 d'un ouvrage de génie civil de classe structurale S4.

### 7.1.1.4. Essais en laboratoire

Les essais réalisés en laboratoire mettent en évidence les points suivants :

- Essais physico-mécanique :

L'évaluation de la qualité physico-mécanique du béton employé révèle un béton de bonne qualité avec :

- Une classe de résistance à la compression équivalente à un béton C45/55 selon la norme NF EN 206-1
- Des porosités excellentes pour les bâches et locaux d'aspersion avec respectivement 9.3% et 10.8%.

- Analyses chimiques :

Les analyses chimiques réalisées sur les poudres de béton prélevés au droit des zones investiguées ne montrent pas de pollution du béton par les chlorures.

## 7.1.2. Réservoir sur tour

### 7.1.2.1. Présentation générale

Les différents éléments constituant le réservoir sur tour sont présentés sur la coupe en élévation ci-après :

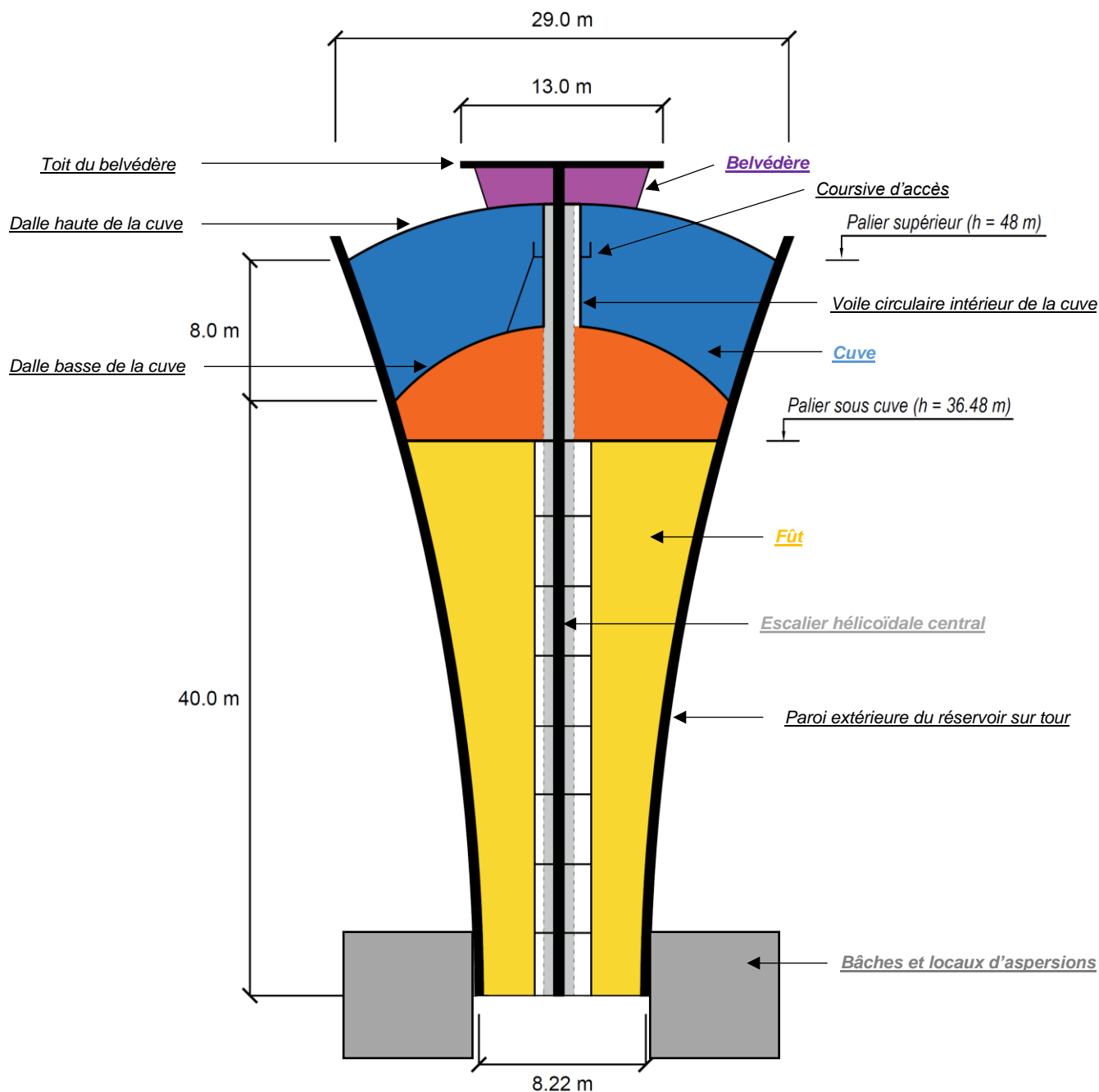


Figure 8 : Coupe en élévation descriptive du réservoir sur tour

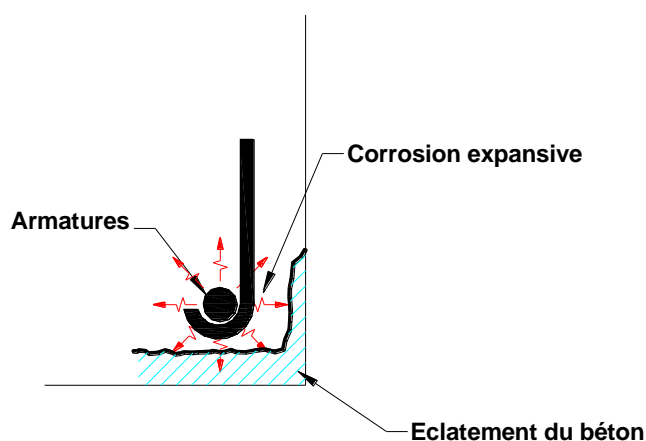
### 7.1.2.2. Examen visuel

Les principaux désordres visibles affectant le réservoir sur tour sont :

- Désordre de type 1.1 : Des éclats de béton
  - En sous-face de la dalle haute de la cuve, au droit de plusieurs aérations.
  - Sur la paroi extérieure du réservoir sur tour, principalement localisée au niveau des faces Ouest et Sud. Ce désordre se retrouve principalement à mi-hauteur.
  - En sous-face et en surface du toit du belvédère.
- Désordre de type 1.2 : Des épaufrures de béton avec des aciers apparents corrodés
  - Affectant la paroi extérieure du réservoir sur tour, principalement localisé sur les faces Ouest et Sud. Ce désordre se retrouve principalement à mi-hauteur.
  - Dans la cuve, en sous-face de la dalle haute de la cuve, de façon localisée.
  - En sous-face du toit du belvédère et ponctuellement sur le voile circulaire intérieur de la cuve.

Ces principales dégradations affectant ces ouvrages résultent du phénomène de corrosion des armatures. Lorsqu'une armature se corrode, elle subit une dissolution plus ou moins localisée, mais se recouvre de produits de corrosion (rouille classique de couleur rougeâtre) instables.

Ces produits de corrosion gonflent en déformant fortement l'enrobage et, sous l'effet d'une pression, finissent par fissurer le béton ou par provoquer des éclatements (épaufrures).



Ce phénomène de corrosion a pour origine la concomitance de plusieurs paramètres influant sur la durabilité.

Dans le cas présent il s'agit du phénomène naturel de vieillissement de l'ouvrage par pénétration du CO<sub>2</sub> de l'air appelé carbonatation. Les réactions chimiques de carbonatation conduisent à une dépassivation des aciers conduisant à leur corrosion.

Cette altération des aciers structurels est évolutive et se développe des zones altérées vers les zones saines. La phase d'incubation a été dépassée et les désordres se manifestent par des éclats de béton laissant apparaître une corrosion des armatures.

- Désordre de type 2 : Des infiltrations (traces de calcite)
  - Sur la paroi extérieure du réservoir sur tour, principalement en partie haute.
  - A l'intérieur de la cuve, de manière très ponctuelle.
  - En sous-face de la dalle basse de la cuve, de manière relativement prononcée.
- Désordre de type 3 : Fissuration / faïençage de l'enduit en parement extérieur de la cuve
  - De légères fissures ont été observées en partie basse de la paroi extérieure du réservoir sur tour.
- Désordre de type 4.1 : Défauts d'étanchéité intérieur
  - Une dégradation de l'étanchéité à l'intérieur de la cuve a été observée avec des zones de cloquage. Ces zones de cloquage sont principalement localisées au niveau de la dalle basse de la cuve et au droit d'anciennes reprises de l'étanchéité.
- Désordre de type 4.2 : Défauts d'étanchéité extérieur
  - Une légère altération en surface de l'étanchéité extérieure de la surface de la dalle haute de la cuve a été observée. On constate également la présence d'un dépôt avec stagnation d'eau côté Ouest. Présence peu importante de végétation, mousses et lichens.
  - Forte altération de l'étanchéité de la surface du toit du belvédère, de nombreuses zones laissant apparaître le béton. Présence peu importante de mousses et lichens

L'implantation des désordres visibles affectant les éléments de structure est présentée en Annexe 5.

### 7.1.2.3. Essais in situ et en laboratoire

- Essais de carbonatation :

Les mesures d'enrobages réalisées sur les éléments structurels du château d'eau et une analyse statistique du résultat de ces dernières ont permis de mettre en évidence les points suivants :

- **Sous-face du dôme** :

- Sous-face de la dalle haute de la cuve – Zone n°1 :

Au droit des zones étudiées, les enrobages moyens mesurés sont relativement corrects, voire ponctuellement importants, avec des valeurs comprises entre 27 et 79 mm. La profondeur du front de carbonatation mesurée est de 7 mm depuis la surface du parement béton.

Concernant les aciers verticaux et horizontaux, les analyses statistiques montrent une probabilité nulle d'avoir des aciers situés en zone carbonatée.

- Sous-face de la dalle haute de la cuve – Zone n°2 :

Au droit des zones étudiées, les enrobages moyens mesurés sont corrects, avec ponctuellement des valeurs faibles, avec des valeurs comprises entre 14 et 41 mm. La profondeur du front de carbonatation mesurée est de 5 mm depuis la surface du parement béton.

Concernant les aciers verticaux et horizontaux, les analyses statistiques montrent une probabilité nulle d'avoir des aciers situés en zone carbonatée.

- **Belvédère** :

- Belvédère – Zone n°1 :

Au droit des zones étudiées, les enrobages moyens mesurés sont relativement faibles avec des valeurs comprises entre 12 et 26 mm. La profondeur du front de carbonatation mesurée est de 20 mm depuis la surface du parement béton.

Concernant les aciers porteurs, les analyses statistiques montrent des proportions d'aciers, situés en zone carbonatée, modérées (42%).

Concernant les aciers de répartition, les analyses statistiques montrent une probabilité de 100% d'avoir des aciers situés en zone carbonatée.

- Belvédère – Zone n°2 :

Au droit des zones étudiées, les enrobages moyens mesurés sont relativement faibles avec des valeurs comprises entre 11 et 25 mm. La profondeur du front de carbonatation mesurée est de 45 mm depuis la surface du parement béton.

Concernant les aciers porteurs et de répartition, les analyses statistiques montrent une probabilité de 100% d'avoir des aciers situés en zone carbonatée.

- **Paroi extérieure du réservoir sur tour :**

- **Façade Ouest – Zone n°1 :**

Au droit des zones étudiées, les enrobages moyens mesurés sont relativement corrects, voire ponctuellement importants, avec des valeurs comprises entre 46 et 70 mm. Les profondeurs du front de carbonatation mesurées sont de 0 mm depuis la surface du parement béton.

Concernant les aciers verticaux et horizontaux, les analyses statistiques montrent une probabilité nulle d'avoir des aciers situés en zone carbonatée.

- **Façade Ouest – Zone n°2 :**

Au droit des zones étudiées, les enrobages moyens mesurés sont relativement corrects, voire ponctuellement importants, avec des valeurs comprises entre 33 et 66 mm. Les profondeurs du front de carbonatation mesurées varient de 0 à 16 mm depuis la surface du parement béton.

Concernant les aciers verticaux et horizontaux, les analyses statistiques montrent une probabilité nulle d'avoir des aciers situés en zone carbonatée.

- **Façade Ouest – Zone n°3 :**

Au droit des zones étudiées, les enrobages moyens mesurés sont corrects, avec des valeurs comprises entre 23 et 47 mm. Les profondeurs du front de carbonatation mesurées varient de 15 à 40 mm depuis la surface du parement béton.

Concernant les aciers verticaux, les analyses statistiques montrent des proportions d'aciers, situés en zone carbonatée, faibles (27%).

Concernant les aciers horizontaux, les analyses statistiques montrent des proportions très élevées d'aciers situés en zone carbonatée (91%).

- **Façade Est – Zone n°4 :**

Au droit des zones étudiées, les enrobages moyens mesurés sont relativement corrects, voire ponctuellement importants, avec des valeurs comprises entre 21 et 69 mm. Les profondeurs du front de carbonatation mesurées varient de 20 à 40 mm depuis la surface du parement béton.

Concernant les aciers verticaux, les analyses statistiques montrent des proportions d'aciers, situés en zone carbonatée, modérées (42%).

Concernant les aciers horizontaux, les analyses statistiques montrent une probabilité quasi nulle d'avoir des aciers situés en zone carbonatée (1%).

Nous rappelons que, selon l'article 4.4.1 de l'Eurocode 2 Partie 1-1 et son Annexe Nationale, l'enrobage minimal  $C_{min,dur}$  de toute armature de béton armé est de 30 mm pour une classe d'exposition XC4 d'un ouvrage de génie civil de classe structurale S4.



- Essais physico-mécanique :

L'évaluation de la qualité physico-mécanique du béton employé révèle un béton de qualité moyenne avec :

- Une classe de résistance à la compression équivalente à un béton C25/30 selon la norme NF EN 206-1.
- Une porosité très bonne de 15% pour le fût central.

- Mesure de potentiel électrochimique :

Les résultats des essais par mesures de potentiel électrochimique, réalisés au niveau des zones 1,2 et 3 de la paroi extérieure du réservoir sur tour, montrent qu'en dehors des zones visuellement altérées (épaufrures des bétons, armatures apparentes corrodées) la probabilité de corrosion active est faible.

Les sondages ponctuels réalisés confirment ces résultats obtenus par essais non destructifs.

- Analyses chimiques :

Les analyses chimiques réalisées sur les poudres de béton prélevés au droit des zones investiguées ne montrent pas de pollution du béton par les chlorures.

## 7.2. Préconisations – bâches

Au regard des désordres observés, des travaux de réparation et de renforcement structurel sont nécessaires pour la pérennité de l'ouvrage.

### 7.2.1. Désordres de type 1 (épaufrures avec armatures apparentes)

A l'intérieur de la bâche, les parties présentant des dégradations visibles doivent être traitées selon le protocole suivant :

- Purge du béton non-adhérent,
- Traitement des aciers et renforcement si nécessaire par des aciers complémentaires correctement liaisonnés aux existants,
- Reconstitution des sections au mortier de résine structurel,
- Mise en place d'un revêtement de protection adapté.

Ces travaux doivent respecter la norme EN 1504 avec notamment une attention toute particulière sur le bon dégagement des armatures sur tout leur périphérie et un minimum de 20 mm à l'arrière de l'acier.

Cette solution comporte de nombreux aléas sur son exécution, pouvant aggraver le phénomène par effet de pile induite. Cette solution permet de réparer localement les zones présentant des désordres. En conséquence ces travaux seront à ré-effectués assez régulièrement dans les zones en cours d'altération.

Nous recommandons de prévoir ces travaux à moyen terme (< 5 ans).

### 7.2.2. Désordres de types 2, 3 et 4 (infiltrations, défauts d'étanchéité et fissuration)

Concernant ces désordres nous préconisons les travaux suivants :

- Traitement des armatures apparentes éventuelles après purge du béton altéré ou non-adhérent sous-jacent à l'enduit. Nous recommandons de prévoir ces travaux à moyen terme (< 5 ans).
- La typologie des fissures présentes sur les bâches et les locaux d'aspersion sont, dans un premier temps, à surveiller. Dans le cas où ces fissures ne seraient pas évolutives, le traitement de ces fissures pourrait se faire par injection à la résine époxydique. Nous recommandons de prévoir le suivi des fissures à court terme ( $\leq 2$  ans).

- Les travaux destinés à assurer l'étanchéité interne et la protection des bâches et locaux d'aspersion sont les suivants :

La bonne tenue des revêtements d'imperméabilisation dépend de la qualité du support et de sa préparation, qui doit permettre d'obtenir une cohésion superficielle supérieure ou égale à 1 MPa. La préparation de surface doit permettre de débarrasser le support de la laitance, des résidus de produit de cure et d'obtenir une rugosité de surface adaptée de la manière suivante :

- Nettoyage par projection d'eau à haute pression et réalisation d'un sablage préalable.
- Traitement éventuel des aciers (décapage, traitement anti corrosion) avec reprise au mortier hydraulique R4.
- Ragréage éventuel des bullages et épaufrures et traitement des fissures à l'aide de produits à base de résines compatibles avec le revêtement d'étanchéité.

Mise en place d'un revêtement d'étanchéité adhérent (REA) aux parois des bâches et locaux d'aspersion y compris le traitement des émergences de conduites conformément aux règles DTU 14-1. Elle sera constituée d'une étanchéité adhérente disposant d'un ACS complet (agrément de conformité sanitaire) comprenant :

- Un primaire époxy pure pénétrant dans le support,
- Une couche de résine d'imprégnation époxy,
- La pose et le débullage d'un tissu de verre multidirectionnel,
- Une couche de finition en résine époxy.

La nature des complexes, les épaisseurs et dosages des revêtements pourront être adaptés en fonction des fournisseurs, sous réserve de validation par le maître d'œuvre. Le complexe d'étanchéité devra toutefois présenter les caractéristiques minimales suivantes :

- Être réalisé suivant DTU ou sous avis technique valide,
- L'ensemble des produits mis en œuvre doivent être titulaires de l'ACS (dont les mortiers utilisés pour le ragréage, le primaire, le liant de stratification, le tissu de verre et la résine de finition),
- Présenter une tenue à la fissuration de 10/10e de mm avec conservation de l'étanchéité,
- Le revêtement doit être en conformité avec les essais M1 et M2 décrit dans le fascicule 74.

Un revêtement d'imperméabilisation souple (RIS) agréé eau potable pourrait être utilisé pour la sous-face des bâches et locaux d'aspersion de type liant hydraulique modifié (LHM). Les revêtements d'imperméabilisation souples à base de liants hydrauliques modifiés, sont adhérents à la structure en béton. Ils possèdent une résistance à la fissuration limitée mais convenable pour protéger les bétons.

- Les travaux destinés à assurer l'imperméabilisation de la sous-face des dalles hautes des bâches et des locaux d'aspersion sont les suivants :

La bonne tenue des revêtements d'imperméabilisation dépend de la qualité du support et de sa préparation, qui doit permettre d'obtenir une cohésion superficielle supérieure ou égale à 1 MPa. La préparation de surface doit permettre de débarrasser le support de la laitance, des résidus de produit de cure et d'obtenir une rugosité de surface adaptée.

Le traitement des fissures : Toutes les reprises de bétonnage et fissures visibles sont considérées comme des joints actifs et traitées par un système d'étanchéité. Deux techniques sont utilisées :

- Le pontage : à l'aide, soit d'une bande manufacturée collée au support, soit d'une bande composée d'un revêtement d'étanchéité adhérent REA. Ces pontages devront comporter un dispositif permettant le raccordement en totale adhérence au revêtement RIS.
- L'ouverture et calfeutrement à l'aide d'un mastic souple suivi d'un traitement confortatif en RIS armé.

Mise en œuvre du revêtement d'imperméabilisation souple (RIS) qui peut être :

- Manuelle. Dans ce cas le produit est appliqué sur les parois à l'aide d'une brosse ou d'une lisseuse.
- Mécanique. Dans ce cas le produit est projeté sur la paroi, il peut être laissé brut de projection, lissé ou balayé. L'application est réalisée en plusieurs couches selon la fiche technique du produit.

Compte tenu des dégradations observées, nous recommandons également de prévoir à moyen terme (< 7 ans) la reprise complète des étanchéités intérieures des bâches et des locaux d'aspersion.

Nous recommandons également de prévoir à moyen terme (< 7 ans) la réfection totale de l'étanchéité de la toiture terrasse.

### **7.2.3. Désordres de type 5 (dégradations des équipements)**

Nous recommandons de réaliser une inspection adaptée afin de définir si oui ou non le remplacement des conduites corrodées, présent dans les bâches, est nécessaire ou non.

#### 7.2.4. Synthèse

Les préconisations relatives aux désordres observés, associées à leur degré d'urgence, sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Préconisations	Délai
Suivi des fissures des bâches et des locaux d'aspersion	Court terme ( $\leq 2$ ans)
Reprise des épaufrures avec armatures apparentes	Moyen terme ( $< 5$ ans)
Reprise de l'étanchéité des voiles des bâches	Moyen terme ( $< 7$ ans)
Reprise de l'étanchéité des voiles des locaux d'aspersion	Moyen terme ( $< 7$ ans)
Remplacement des conduites corrodées	A définir
Reprise de l'étanchéité de la toiture terrasse	Moyen terme ( $< 7$ ans)

Afin de garder une certaine cohérence quant au phasage des travaux, nous recommandons de réaliser les travaux de reprise des épaufrures avec armatures apparentes au même moment que les travaux de reprise de l'étanchéité des bâches et des locaux d'aspersion.

### 7.3. Préconisations – réservoir sur tour

#### 7.3.1. Désordres de type 1 (épaufrures avec armatures apparentes)

Plusieurs types de réparation et de traitements sont possibles, en fonction des objectifs de durabilité visés ou à définir par le maître d'Ouvrage :

1. Traitement traditionnel des zones présentant des désordres (durée de vie : de l'ordre de 3 à 5 ans)
2. Traitement traditionnel des zones présentant des désordres avec mise en place d'une protection galvanique au droit de ces zones (durée de vie : environ 10-15 ans)
3. Traitement traditionnel des zones présentant des désordres avec mise en place d'une protection cathodique de tout l'ouvrage ou de façon plus généralisée (durée de vie : à définir pour dimensionner le système de protection)

##### 1. Traitement traditionnel des désordres :

Les parties présentant des dégradations visibles doivent être traitées selon le protocole suivant :

- Purge du béton carbonaté
- Traitement des aciers et renforcement si nécessaire par des aciers complémentaires correctement liaisonnés aux existants
- Mise en œuvre d'un béton d'enrobage par béton projeté
- Mise en place d'un revêtement de protection adapté

Ces travaux doivent respecter la norme EN 1504 avec notamment une attention toute particulière sur le bon dégagement des armatures sur tout leur périphérie et un minimum de 20 mm à l'arrière de l'acier.

Cette solution comporte de nombreux aléas sur son exécution, pouvant aggraver le phénomène par effet de pile induite. Cette solution permet de réparer localement les zones présentant des désordres. En conséquence ces travaux seront à ré-effectués assez régulièrement dans les zones en cours d'altération.

**Les solutions techniques proposées ci-après** devront être étudiées par un bureau d'étude et de Maîtrise d'œuvre spécialisé.

Dans le cas d'un traitement par système de protection cathodique (galvanique ou courant imposé) un diagnostic complémentaire devra être réalisé.

Ce diagnostic complémentaire doit répondre aux interrogations suivantes :

- Absence de chlorures libres,
- Caractérisation du béton vis-à-vis de l'électrochimie : résistivité du matériau, porosité, ...
- Cartographie de potentiel pour recherche de zone de corrosion sous-jacente (zone d'armatures corrodées sans éclatement),
- Continuité électrique,
- ...

## 2. Traitement traditionnel des désordres avec mise en place d'une protection galvanique au droit de ces zones traitées :

L'origine de la corrosion (carbonatation du béton) permet la mise en place d'un système de protection électrochimique du béton par protection galvanique au droit des zones réparées.

Le principe consiste à substituer la corrosion des armatures par la corrosion d'un autre matériau. Ce matériau est généralement du zinc qui est moins noble que l'acier.

Le principe est de mettre en contact des anodes discrètes ou un revêtement en zinc avec les armatures déjà en place. Cette connexion permet le couplage des deux matériaux et crée ainsi une protection cathodique des armatures du béton.

Le dimensionnement de la solution dans le temps se fait par rapport à la masse de zinc apportée. En application des lois de Coulomb et de Faraday, on obtient ainsi une épaisseur surfacique zinc à mettre en œuvre pour une durée de vie du système. Ces calculs prennent également en compte la quantité d'armature à protéger selon une hypothèse sur le courant de protection qui est issu du diagnostic.

Ce traitement sera localisé au niveau des zones dégradées.

La description des travaux de réparation peut être la suivante, et conformes à la norme NF EN 12 696 :

- Purge de toutes les zones non adhérentes,
- Elimination des oxydes, vérification et mise en continuité des armatures, connexion des « négatives », et des systèmes de contrôle,
- Mise en place d'anode de zinc avec connexion à l'armature,
- Rebouchage à l'aide d'un mortier prêt à l'emploi conformément à la norme EN 1504,
- Préparation de surface,
- Mise en place d'un revêtement de finition.

Cette solution technique permet donc de garantir des réparations pour une pérennité supérieure à 10 ans.



3. Traitement traditionnel des désordres avec mise en place d'une protection cathodique de tout l'ouvrage ou de façon plus généralisée :

▪ 1<sup>ère</sup> méthode (hors protection cathodique) :

L'application par **imprégnation d'un produit inhibiteur de corrosion**, migrant dans le béton et se fixant à la surface des armatures pour les protéger de la corrosion.

Cette méthode ne pourra être validée qu'après la réalisation de tests de diffusion préalables permettant de s'assurer de la bonne pénétration du produit jusqu'aux armatures.

▪ 2<sup>ème</sup> méthode :

**La réalcalinisation du béton par traitement électrochimique**

(Protection indirecte à courant intense = traitement du béton).

Cette méthode vise à rétablir le pH alcalin du béton par l'introduction d'un courant électrique dans le béton via les armatures du béton (cathode) et un treillis anodique (anode) en surface.

Ainsi, l'application d'un courant électrique pendant une durée déterminée génère la production d'hydroxydes qui augmentent progressivement le pH du béton.

La mise en œuvre d'une telle méthode ne pourra être envisagée qu'après avoir démontré l'efficacité du système à restaurer l'alcalinité du béton autour des armatures.

Il conviendra également de s'assurer de l'absence de risque de déclenchement d'une réaction expansive associée à la présence éventuelle de granulats alcali réactifs.

▪ 3<sup>ème</sup> méthode :

**La protection cathodique par protection galvanique**

(Protection directe à courant faible)

Comme présenté plus haut, le principe consiste à substituer la corrosion des armatures par la corrosion d'un autre matériau en mettant en contact des anodes discrètes avec les armatures déjà en place. Cette connexion permet le couplage des deux matériaux et crée ainsi une protection cathodique des armatures du béton.

▪ 4<sup>ème</sup> méthode :

**La protection cathodique par courant imposé**

(Protection directe à courant moyen)

On utilise un générateur de courant continu branché entre l'ouvrage à protéger et un matériau conducteur peu altérable généralement en titane avec un revêtement d'oxydes nobles.

Le courant imposé permet simplement de fournir continuellement des électrons au réseau d'armatures afin de pérenniser la liaison métallique du ferrailage. Selon l'intensité du courant de protection, cette méthode limite voire annihile la réaction d'oxydation sur les sites actifs.

Le courant de protection imposé provoque alors une polarisation cathodique globale du système de corrosion et un abaissement des valeurs du champ de potentiel de l'acier. La polarisation est cependant limitée du fait du risque de dégagement d'hydrogène aux armatures.

Suivant la norme NF EN ISO 12696, des contrôles périodiques devront ensuite être effectués (fonctionnement et performance).

Le choix d'une ou de plusieurs de ces méthodes dépendra des résultats des diagnostics complémentaires (compatibilité des ouvrages), de la durée de vie désirée, de l'acceptation ou pas d'une maintenance, des conditions d'exploitation, du courant à débiter, ...

Les parties béton concernées par ces traitements sont :

- Parement extérieur du réservoir sur tour,
- Ponctuellement, le parement intérieur de la cuve (sous-face du dôme),
- La dalle haute du belvédère.

### **7.3.2. Désordres de type 2, 3 et 4 (Infiltrations, fissuration et défauts d'étanchéité)**

La réfection totale de l'étanchéité à l'intérieur de la cuve est à prévoir à moyen terme (< 5 ans).

- Les travaux destinés à assurer l'étanchéité interne et la protection de la cuve sont les suivants :

La bonne tenue des revêtements d'imperméabilisation dépend de la qualité du support et de sa préparation, qui doit permettre d'obtenir une cohésion superficielle supérieure ou égale à 1 MPa. La préparation de surface doit permettre de débarrasser le support de la laitance, des résidus de produit de cure et d'obtenir une rugosité de surface adaptée de la manière suivante :

- Nettoyage par projection d'eau à haute pression et réalisation d'un sablage préalable.
- Traitement éventuel des aciers (décapage, traitement anti corrosion) avec reprise au mortier hydraulique R4.
- Ragréage éventuel des bullages et épaufrures et traitement des fissures à l'aide de produits à base de résines compatibles avec le revêtement d'étanchéité.

Mise en place d'un revêtement d'étanchéité adhérent (REA) aux parois de la cuve, radier, piliers, y compris le traitement des émergences de conduites conformément aux règles DTU 14-1. Elle sera constituée d'une étanchéité adhérente disposant d'un ACS complet (agrément de conformité sanitaire) comprenant :

- Un primaire époxy pure pénétrant dans le support,
- Une couche de résine d'imprégnation époxy,
- La pose et le débullage d'un tissu de verre multidirectionnel,
- Une couche de finition en résine époxy.

La nature des complexes, les épaisseurs et dosages des revêtements pourront être adaptés en fonction des fournisseurs, sous réserve de validation par le maître d'œuvre. Le complexe d'étanchéité devra toutefois présenter les caractéristiques minimales suivantes :

- Être réalisé suivant DTU ou sous avis technique valide,
- L'ensemble des produits mis en œuvre doivent être titulaires de l'ACS (dont les mortiers utilisés pour le ragréage, le primaire, le liant de stratification, le tissu de verre et la résine de finition),
- Présenter une tenue à la fissuration de 10/10e de mm avec conservation de l'étanchéité,
- Le revêtement doit être en conformité avec les essais M1 et M2 décrit dans le fascicule 74.

Un revêtement d'imperméabilisation souple (RIS) agréé eau potable pourrait être utilisé pour la sous-face du dôme de type liant hydraulique modifié (LHM). Les revêtements d'imperméabilisation souples à base de liants hydrauliques modifiés, sont adhérents à la structure en béton. Ils possèdent une résistance à la fissuration limitée mais convenable pour protéger les bétons de sous face de la coupole par exemple.

- Les travaux destinés à assurer l'imperméabilisation de la sous-face du dôme sont les suivants :

La bonne tenue des revêtements d'imperméabilisation dépend de la qualité du support et de sa préparation, qui doit permettre d'obtenir une cohésion superficielle supérieure ou égale à 1 MPa. La préparation de surface doit permettre de débarrasser le support de la laitance, des résidus de produit de cure et d'obtenir une rugosité de surface adaptée.

Le traitement des fissures : Toutes les reprises de bétonnage et fissures visibles sont considérées comme des joints actifs et traitées par un système d'étanchéité. Deux techniques sont utilisées :

- Le pontage : à l'aide, soit d'une bande manufacturée collée au support, soit d'une bande composée d'un revêtement d'étanchéité adhérent REA. Ces pontages devront comporter un dispositif permettant le raccordement en totale adhérence au revêtement RIS.
- L'ouverture et calfeutrement à l'aide d'un mastic souple suivi d'un traitement confortatif en RIS armé.

Mise en œuvre du revêtement d'imperméabilisation souple (RIS) qui peut être :

- Manuelle. Dans ce cas le produit est appliqué sur les parois à l'aide d'une brosse ou d'une lisseuse.
- Mécanique. Dans ce cas le produit est projeté sur la paroi, il peut être laissé brut de projection, lissé ou balayé. L'application est réalisée en plusieurs couches selon la fiche technique du produit.

La réfection totale de l'étanchéité du belvédère est à prévoir à court terme ( $\leq 2$  ans) après préparation du support (nettoyage, traitement anti-mousse...).

Cependant, compte tenu des désordres observés (très forte dégradation de l'étanchéité, épaufrures avec armatures apparentes et les résultats des essais in-situ de carbonatation), nous conseillons la démolition et la reconstruction du belvédère. Cette solution peut être envisagée à moyen terme ( $< 5$  ans).

Nous recommandons également de prévoir à moyen terme ( $< 7$  ans) la réfection totale de l'étanchéité extérieure en surface de la dalle haute de la cuve.

Concernant les observations faites au niveau de la surface de la dalle du palier sous cuve (observation d'un éventuel décalage de la dalle aux abords d'une conduite métallique), nous recommandons :

- Dans un premier temps, le recalcul des éléments structuraux (poutrelles et poutres en béton) selon les informations données dans la note de calcul (type et constitution du plancher, ferrailage des éléments, ...).
- Dans un second temps, des sondages destructif et non destructif pourront être réalisés afin de confirmer les hypothèses détaillées dans la note de calcul.

### 7.3.3. Synthèse

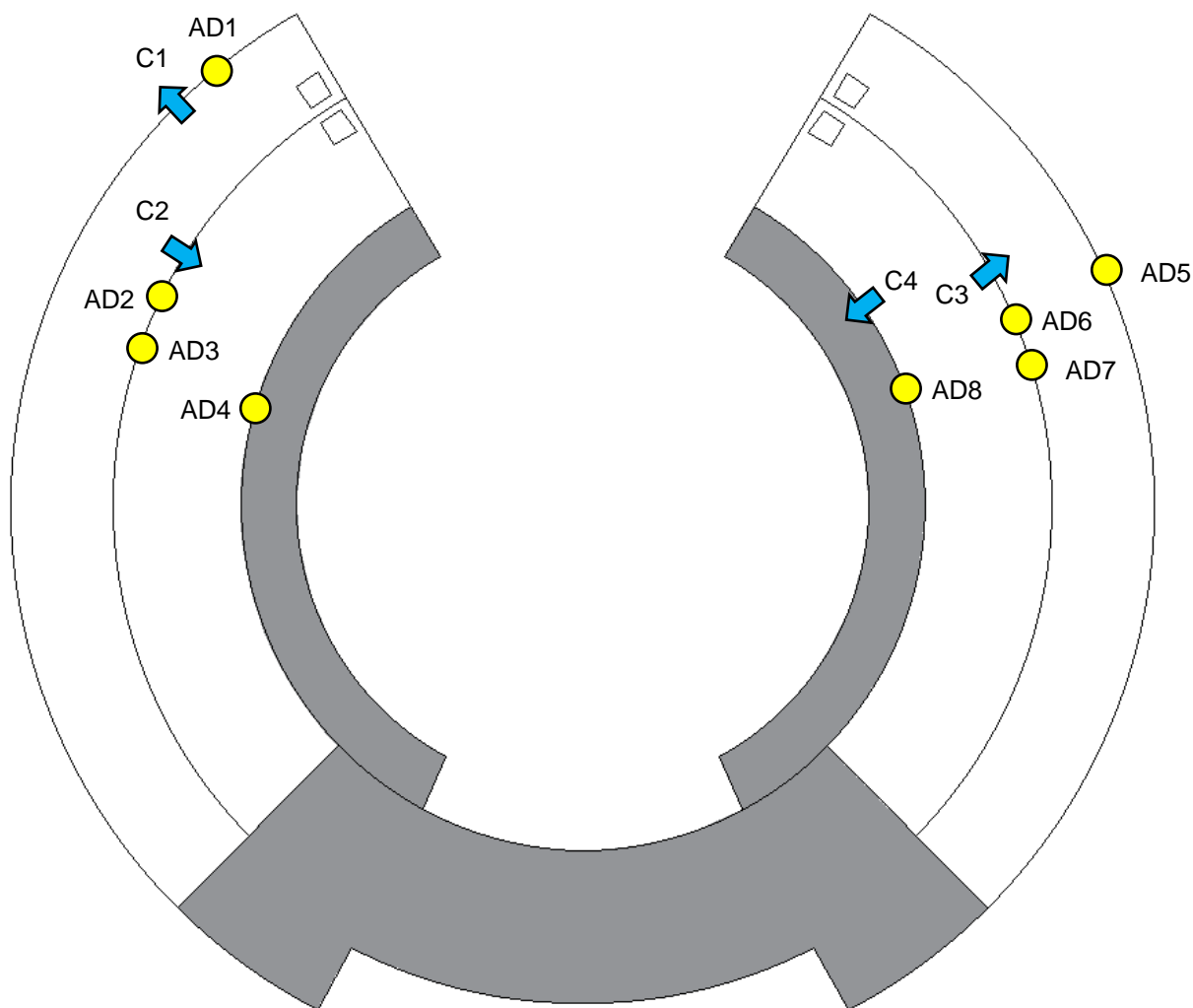
Les préconisations relatives aux désordres observés, associées à leur degré d'urgence, sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Préconisations		Délai
Reprise des épaufrures avec armatures apparentes de la cuve		Moyen terme (< 5 ans)
Reprise de l'étanchéité de l'intérieur de la cuve		Moyen terme (< 5 ans)
Reprise de la paroi extérieure du réservoir sur tour	Zone dégradée	Moyen terme (< 5 ans)
	Zone saine	Long terme (≥ 7 ans)
Reprise de l'étanchéité de la surface de la dalle haute de la cuve		Moyen terme (< 7 ans)
Reprise de l'étanchéité du toit du belvédère		Court terme (≤ 2 ans)
ou		
Démolition et reconstruction du belvédère		Moyen terme (< 5 ans)



Afin de garder une certaine cohérence quant au phasage des travaux, nous recommandons de réaliser les travaux de reprise des épaufrures avec armatures apparentes de la cuve au même moment que les travaux de reprise de l'étanchéité de la cuve.

## ANNEXE 1 : BACHES ET LOCAUX D'ASPERSIONS - IMPLANTATION DES SONDAGES

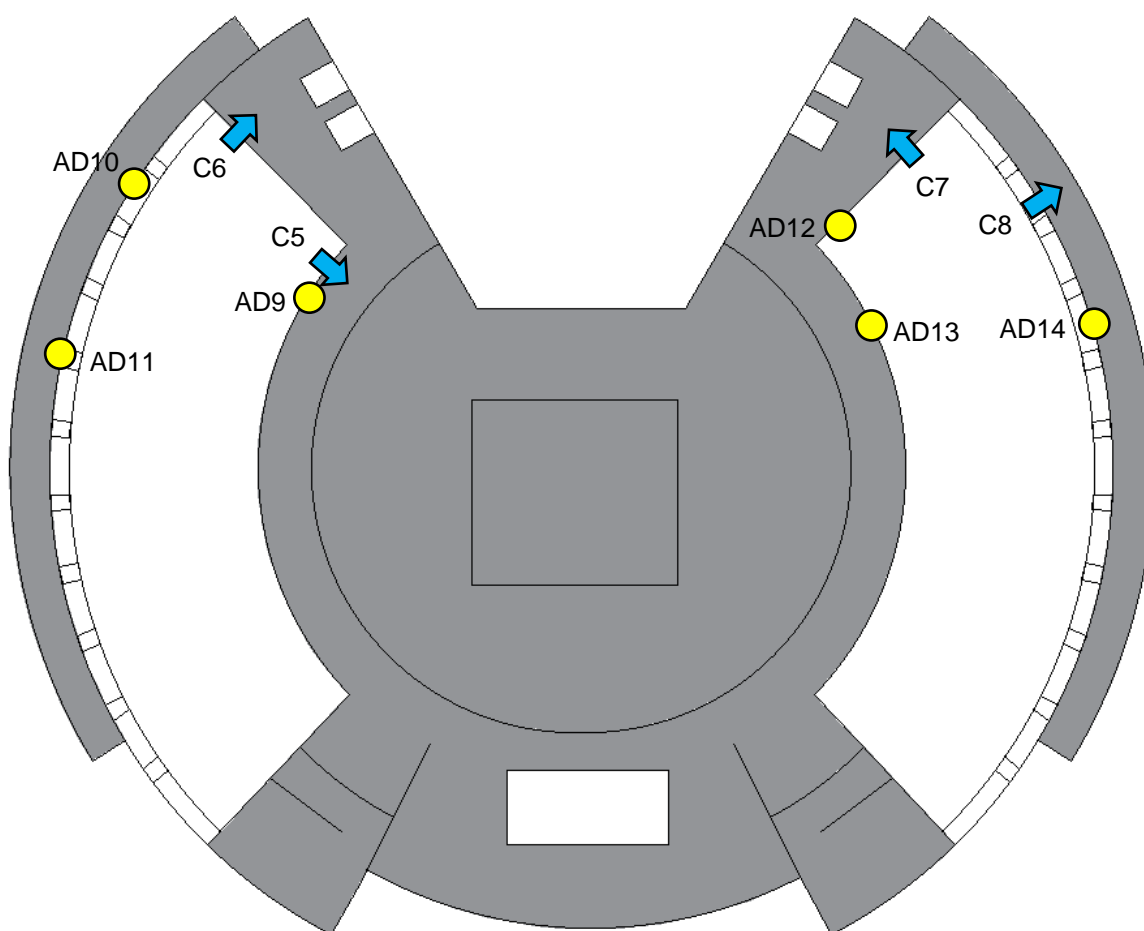
➤ Bâches :





**Légende :**

-  Carottage diamant sous eau – C#
-  Essais d'arrachement – AD#

➤ Locaux d'aspersion :



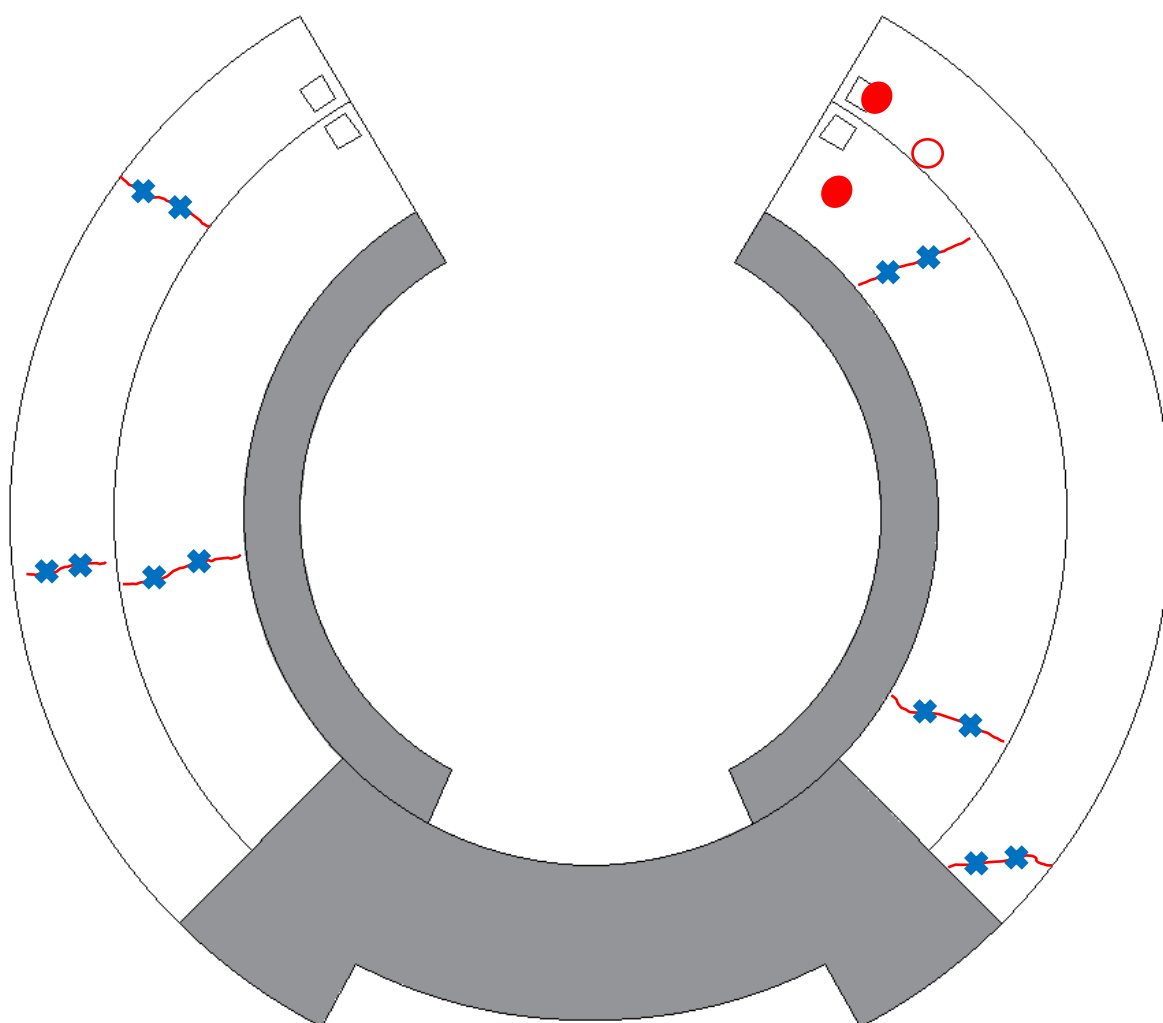
**Légende :**

-  Carottage diamant sous eau – C#
-  Essais d'arrachement – AD#







## ANNEXE 2 : BACHES ET LOCAUX D'ASPERSIONS - IMPLANTATION DES DESORDRES DE TYPE : 1, 2, 3

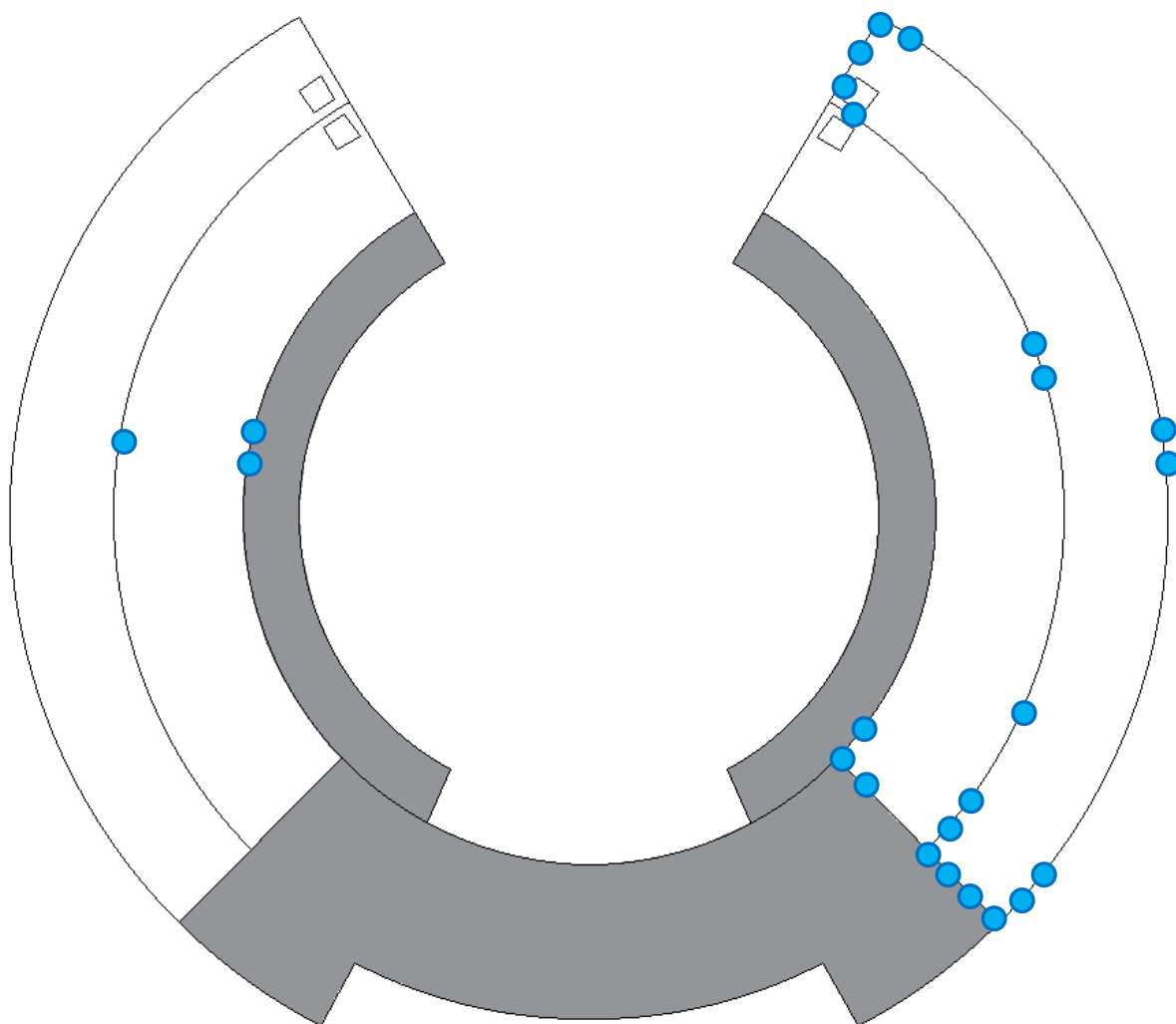
➤ Bâches :



**Légende :**

-  Type 1 : Epaufrures de béton - Eclat de béton en formation
-  Type 1 : Epaufrures de béton - Armatures apparentes oxydées en sous-face du dôme
-  Type 2 : Infiltrations – Traces de calcite
-  Type 3 : Fissuration – Fissures horizontales et transversales

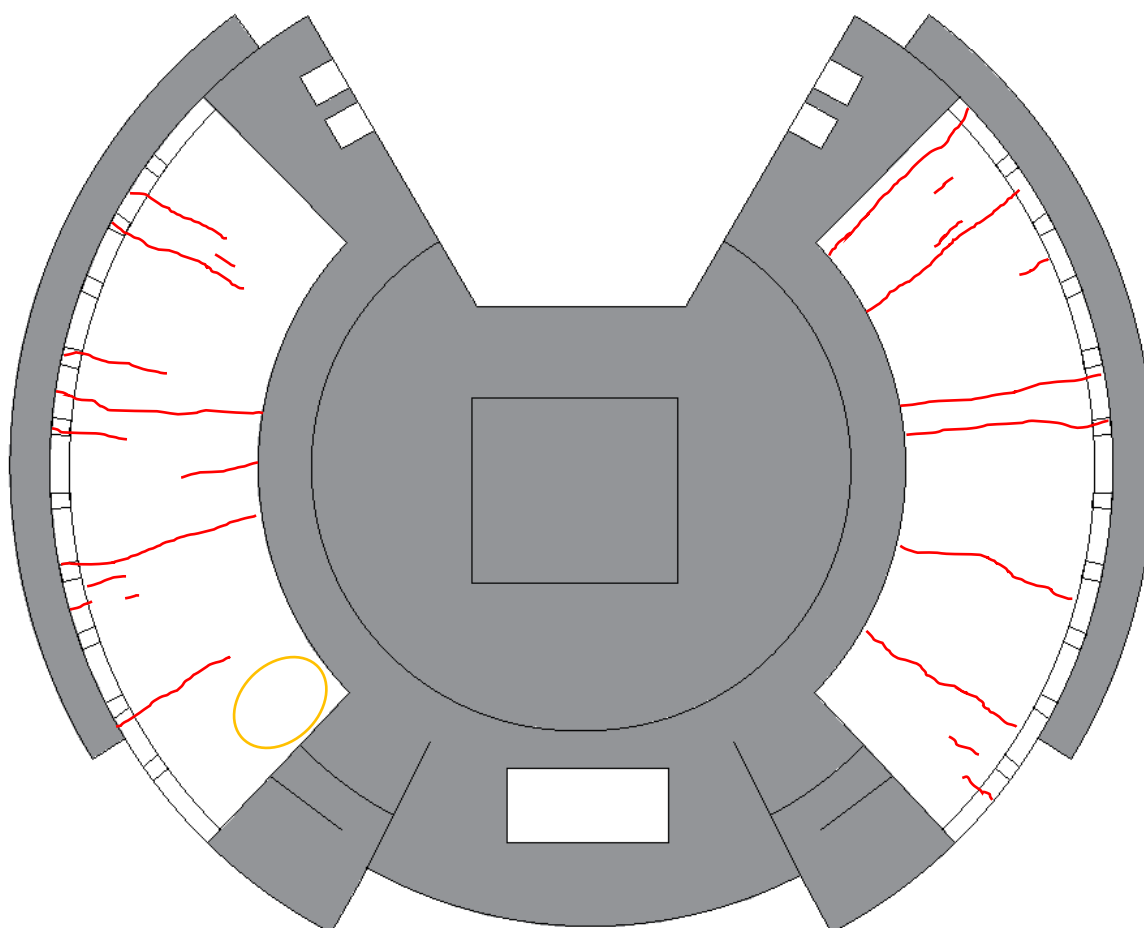
➤ Bâches (Parois verticales) :



**Légende :**

- Type 4 : Défauts d'étanchéité – Cloquage de l'étanchéité

➤ Locaux d'aspersions :

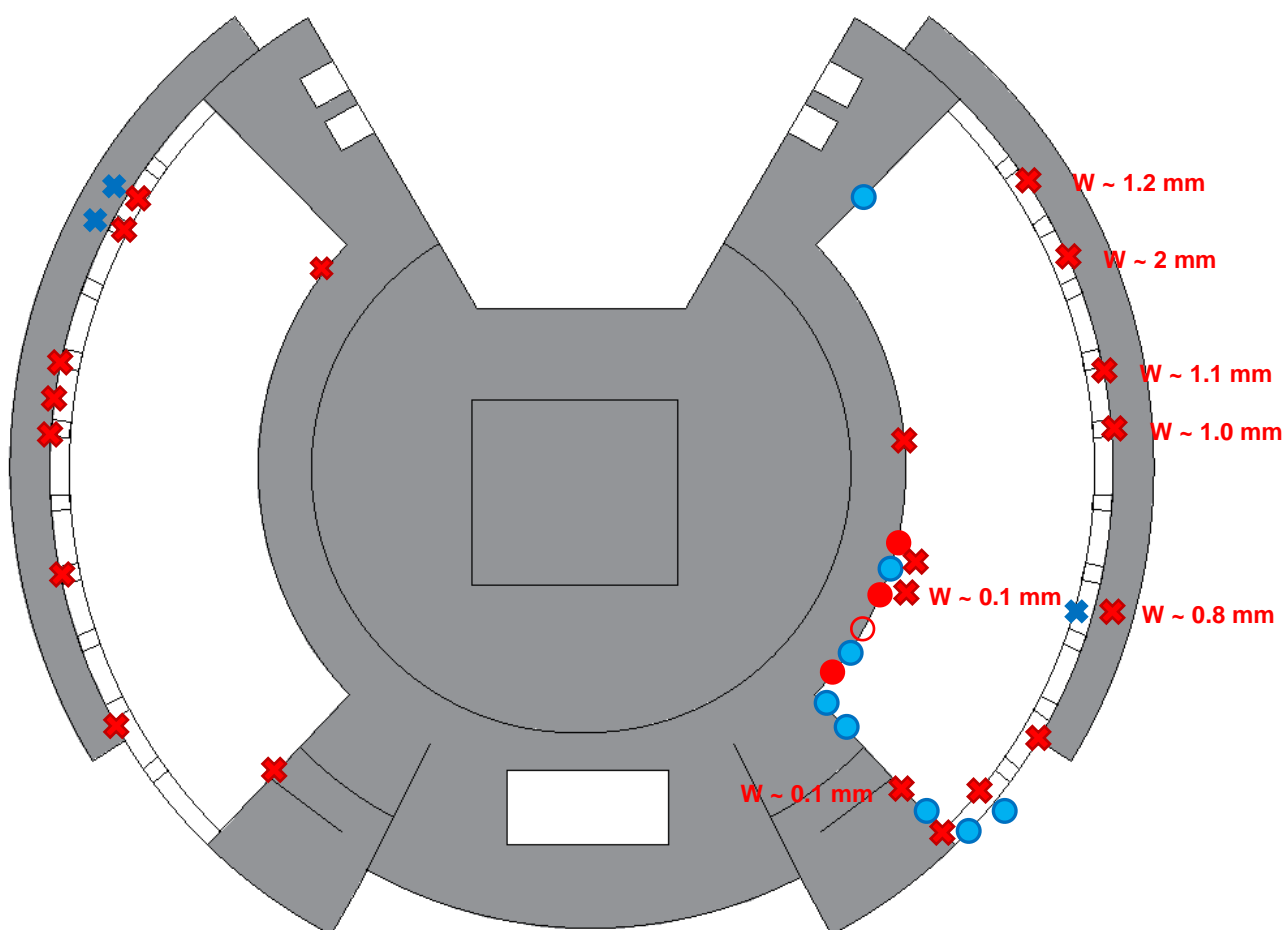


**Légende :**

— Type 3 : Fissuration – Fissures horizontales et transversales – Sous-face



➤ Locaux d'aspersions (parois verticales) :

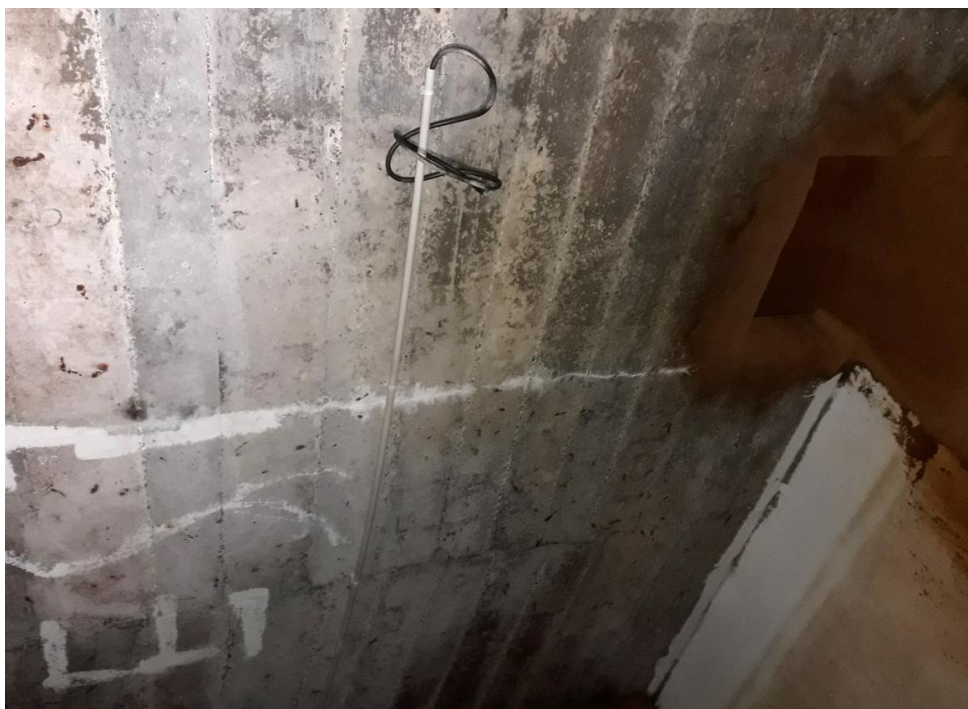


**Légende :**

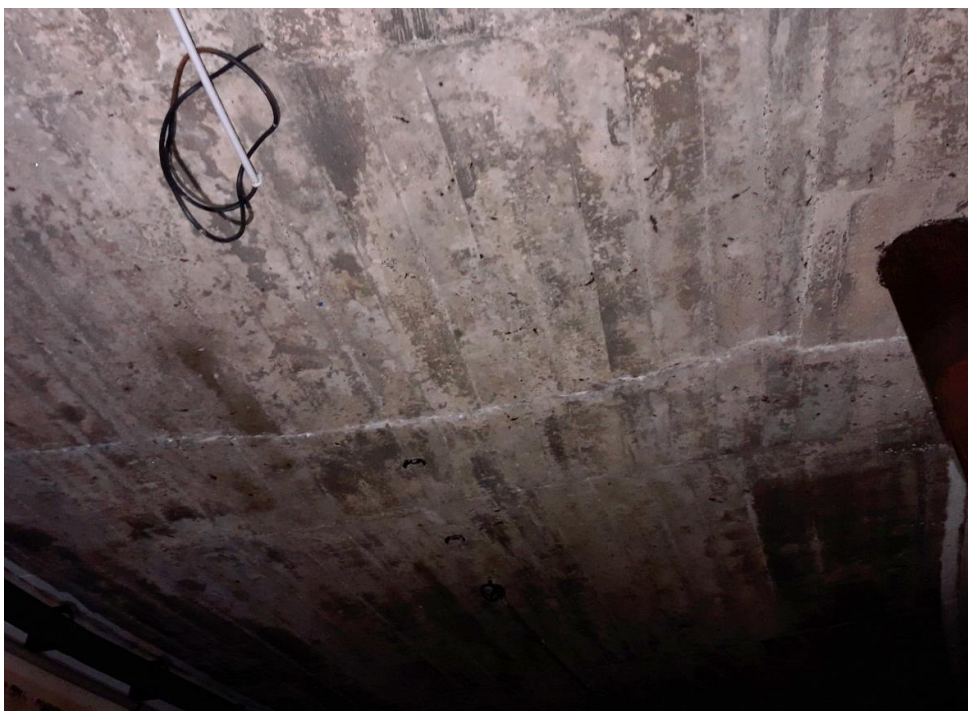
- Type 1 : Epaufrures de béton - Eclat de béton en formation
- Type 1 : Epaufrures de béton - Armatures apparentes oxydées
- ✕ Type 2 : Infiltrations – Traces de calcite
- ✕ Type 3 : Fissuration – Fissures verticales et biaises
- Type 4 : Défauts d'étanchéité – Cloquage de l'étanchéité

## ANNEXE 3 : BACHES ET LOCAUX D'ASPERSIONS – DOSSIER PHOTOGRAPHIQUE

➤ Bâches n°1 et 2 :



Photographie 35 : Désordres de type 2 et 3 – Fissure dalle haute de la bâche



Photographie 36 : Désordres de type 2 et 3 – Fissure dalle haute de la bâche





Photographie 37 : Désordres de type 4 et 6 – Dégradation de l'étanchéité et dépôt de ferrite



Photographie 38 : Désordres de type 4 et 6 – Dégradation de l'étanchéité et dépôt de ferrite



Photographie 39 : Désordres de type 4 et 6 – Dégradation de l'étanchéité et dépôt de ferrite



Photographie 40 : Désordres de type 4 et 6 – Dégradation de l'étanchéité et dépôt de ferrite





Photographie 41 : Désordre de type 4 – Cloquage et dégradation de l'étanchéité



Photographie 42 : Désordre de type 4 – Cloquage et dégradation de l'étanchéité



Photographie 43 : Désordre de type 5 – Conduite corrodée

Local d'aspersion n°1 :



Photographie 44 : Désordres de type 3, 4 et 6





Photographie 45 : Désordres de type 3, 4 et 6



Photographie 46 : Désordres de type 1, 3, 4 et 6



Photographie 47 : Désordres de type 3, 4 et 6 – Fissure angle ouverture



Photographie 48 : Désordres de type 2 et 3 – Fissure dalle haute de la salle d'aspersion



Photographie 49 : Désordres de type 2 et 3 – Fissure dalle haute de la salle d'aspersion





Photographie 50 : Désordres de type 4 et 6 – Cloquage de l'étanchéité et dépôt de ferrite



Photographie 51 : Désordres de type 4 et 6 – Dégradation de l'étanchéité et dépôt de ferrite

Bâches n°3 et 4 :



Photographie 52 : Désordres de type 4 et 6 – Dégradation de l'étanchéité et dépôt de ferrite



Photographie 53 : Désordres de type 4 et 6 – Dégradation de l'étanchéité et dépôt de ferrite





Photographie 54 : Désordres de type 4 et 6 – Dégradation de l'étanchéité et dépôt de ferrite



Photographie 55 : Désordres de type 4 et 6 – Dégradation de l'étanchéité et dépôt de ferrite



Photographie 56 : Désordres de type 4 et 6 – Dégradation de l'étanchéité et dépôt de ferrite



Photographie 57 : Désordres de type 2 et 3 – Fissure dalle haute de la bache





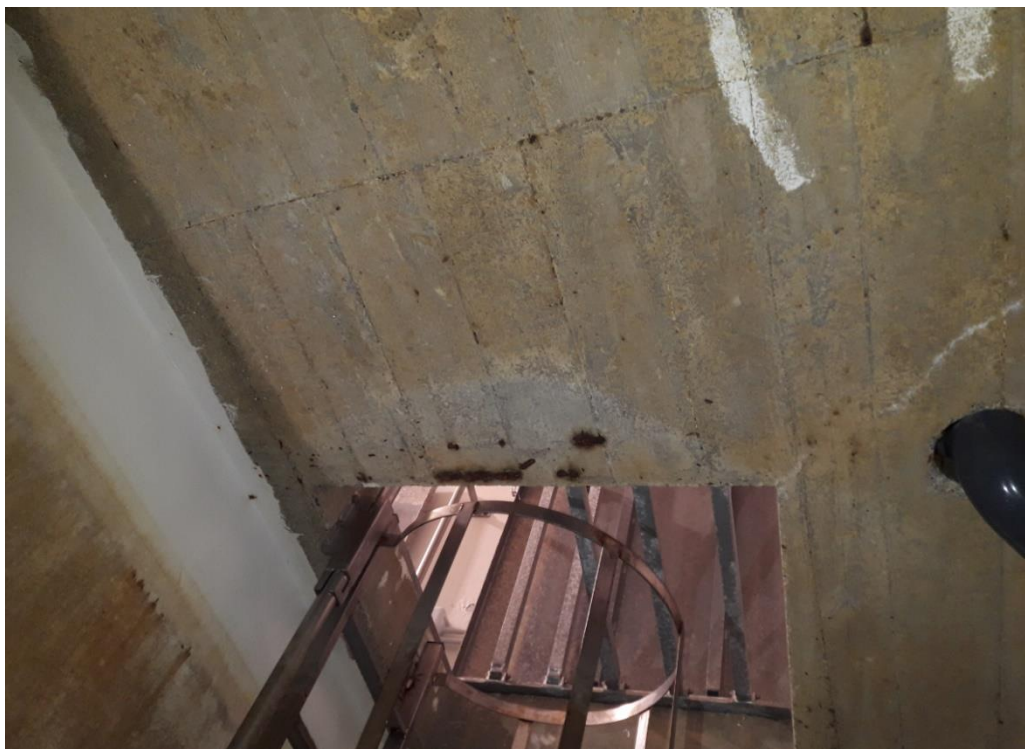
Photographie 58 : Désordres de type 2 et 3 – Fissure dalle haute de la bâche



Photographie 59 : Désordre de type 1 – Au niveau d'une des trappes d'accès



Photographie 60 : Désordre de type 1 – Dalle haute de la bâche



Photographie 61 : Désordre de type 1 – Au niveau d'une des trappes d'accès



Local d'aspersion n°2 :



Photographie 62 : Désordres de type 3 et 6 – Légère fissure et dépôt de ferrite



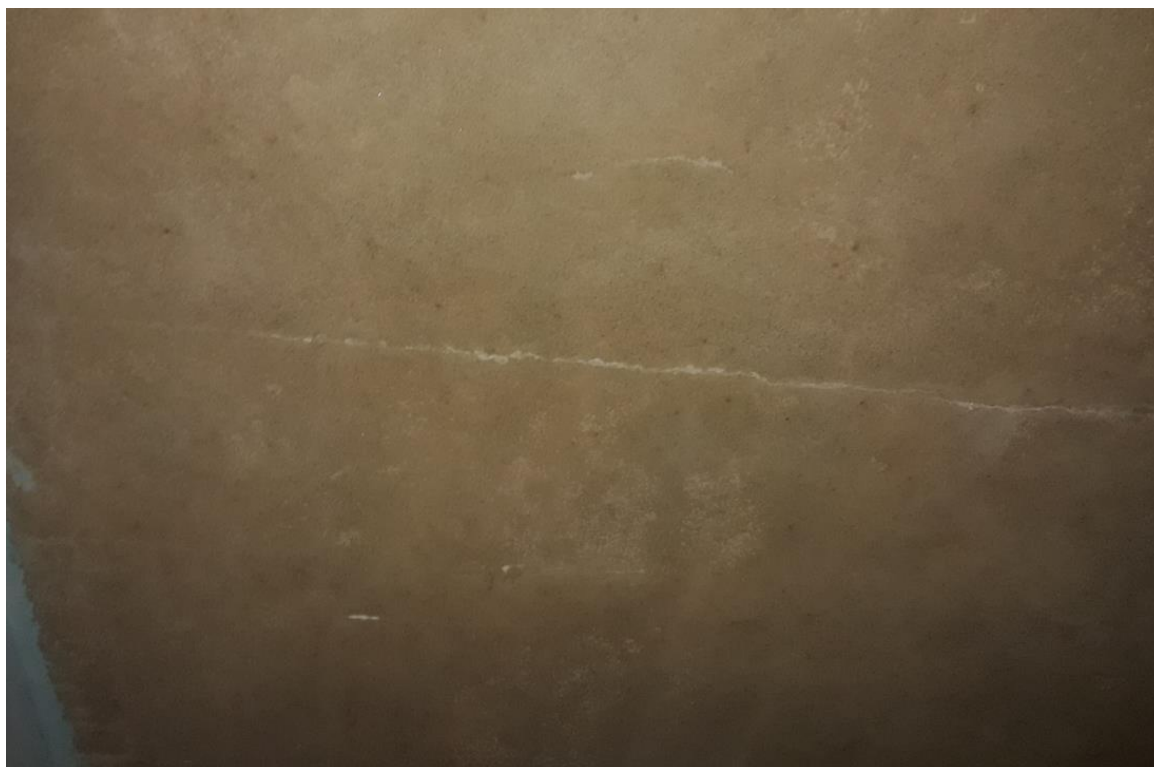
Photographie 63 : Désordres de type 3, 4 et 6 – Fissure horizontale et dépôt de ferrite



Photographie 64 : Désordres de type 3, 4 et 6 – Fissure verticale et dépôt de ferrite



Photographie 65 : Désordres de type 2 et 3 – Fissures dalle haute et calcite



Photographie 66 : Désordres de type 2 et 3 – Fissures dalle haute et calcite





Photographie 67 : Désordres de type 1, 4 et 6



Photographie 68 : Désordres de type 1, 4 et 6

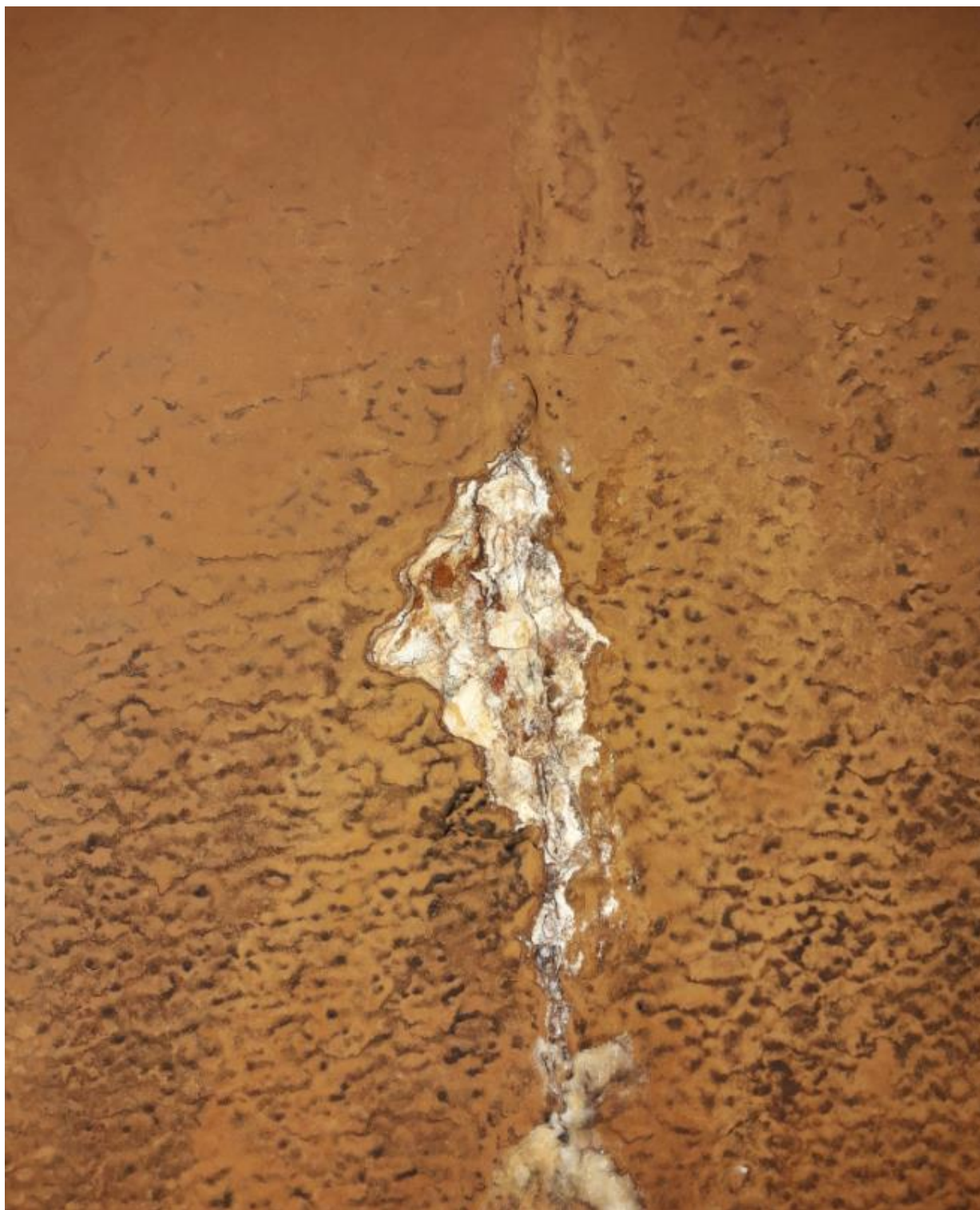




Photographie 69 : Désordres de type 4 et 6 – Cloquage de l'étanchéité et dépôt de ferrite



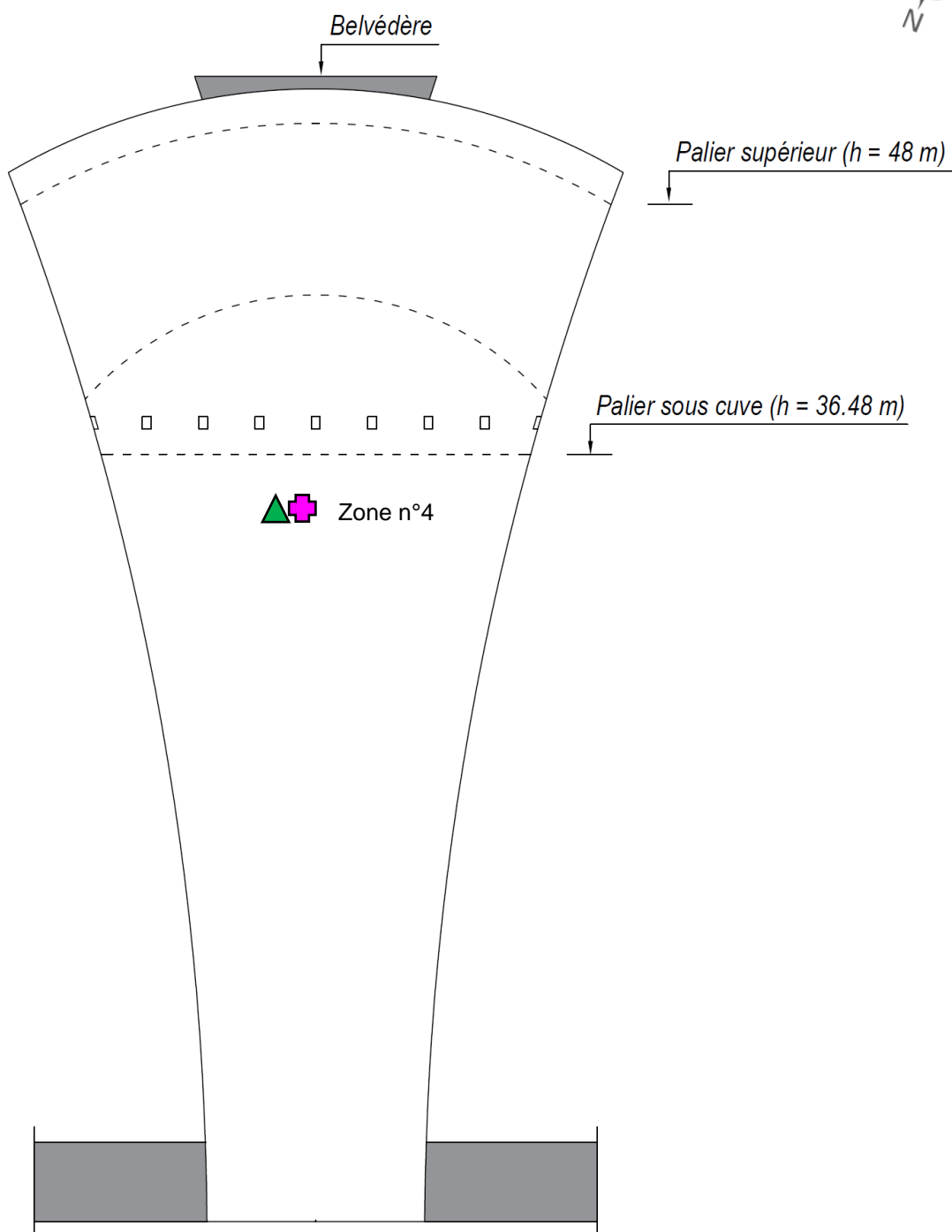
Photographie 70 : Désordres de type 4 et 6 – Dégradation de l'étanchéité et dépôt de ferrite



Photographie 71 : Désordres de type 2 et 3 – Fissure et calcite au niveau d'un voile de la salle d'aspersion

## ANNEXE 4 : RESERVOIR SUR TOUR - IMPLANTATION DES SONDAGES

➤ Façade Est :



**Légende :**

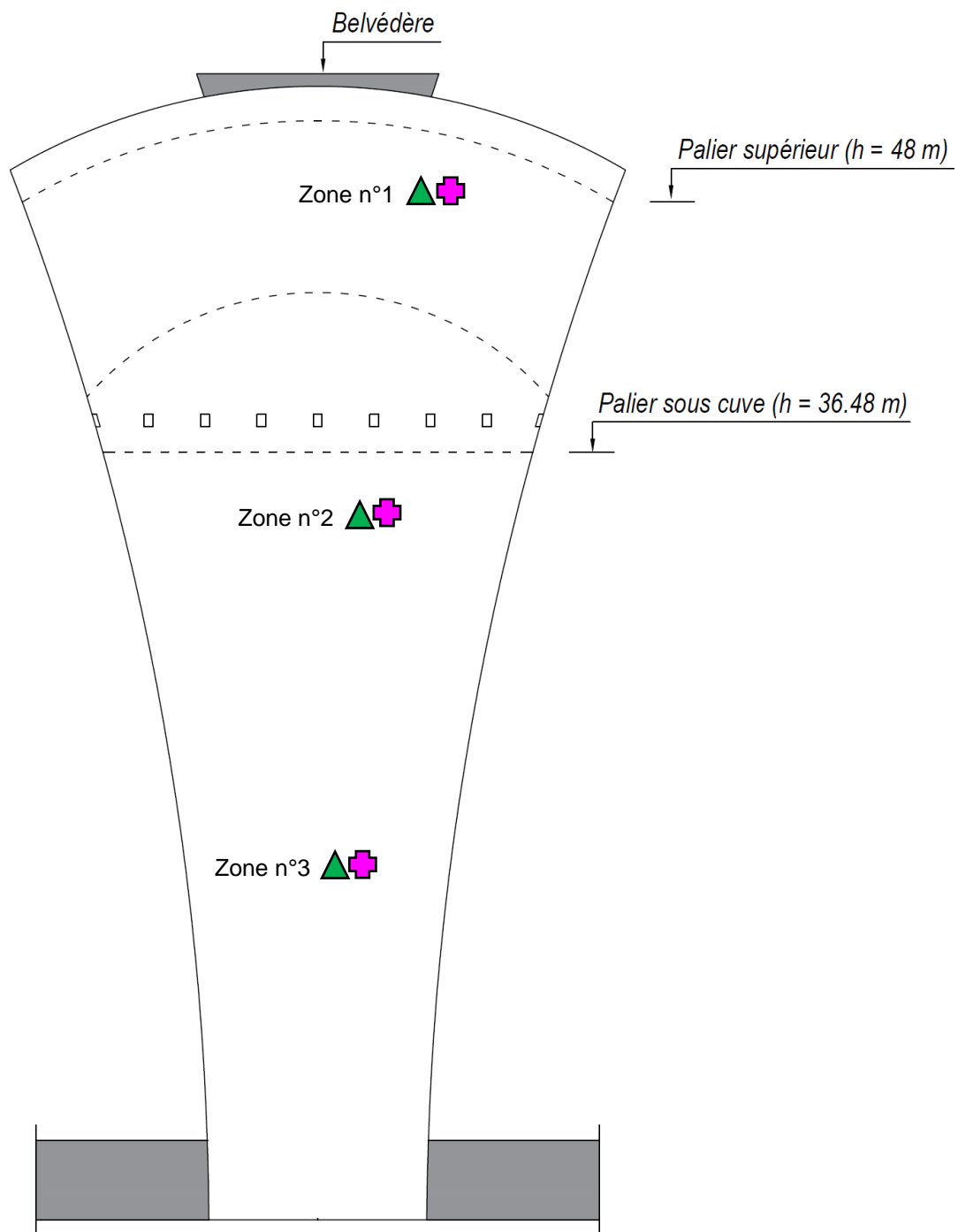


Mesures de profondeur de carbonatation en parement extérieur





Mesures de potentiel électrochimique

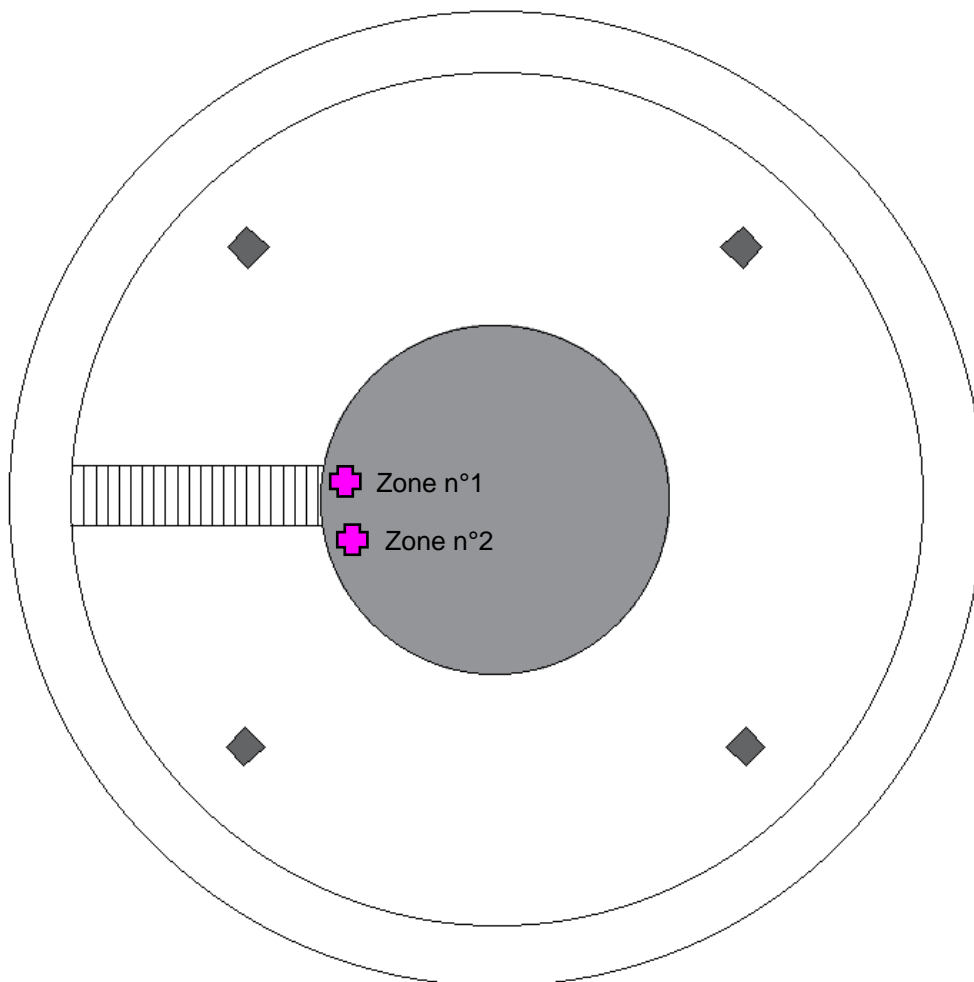
➤ Façade Ouest :




**Légende :**

-  Mesures de profondeur de carbonatation en parement extérieur
-  Mesures de potentiel électrochimique

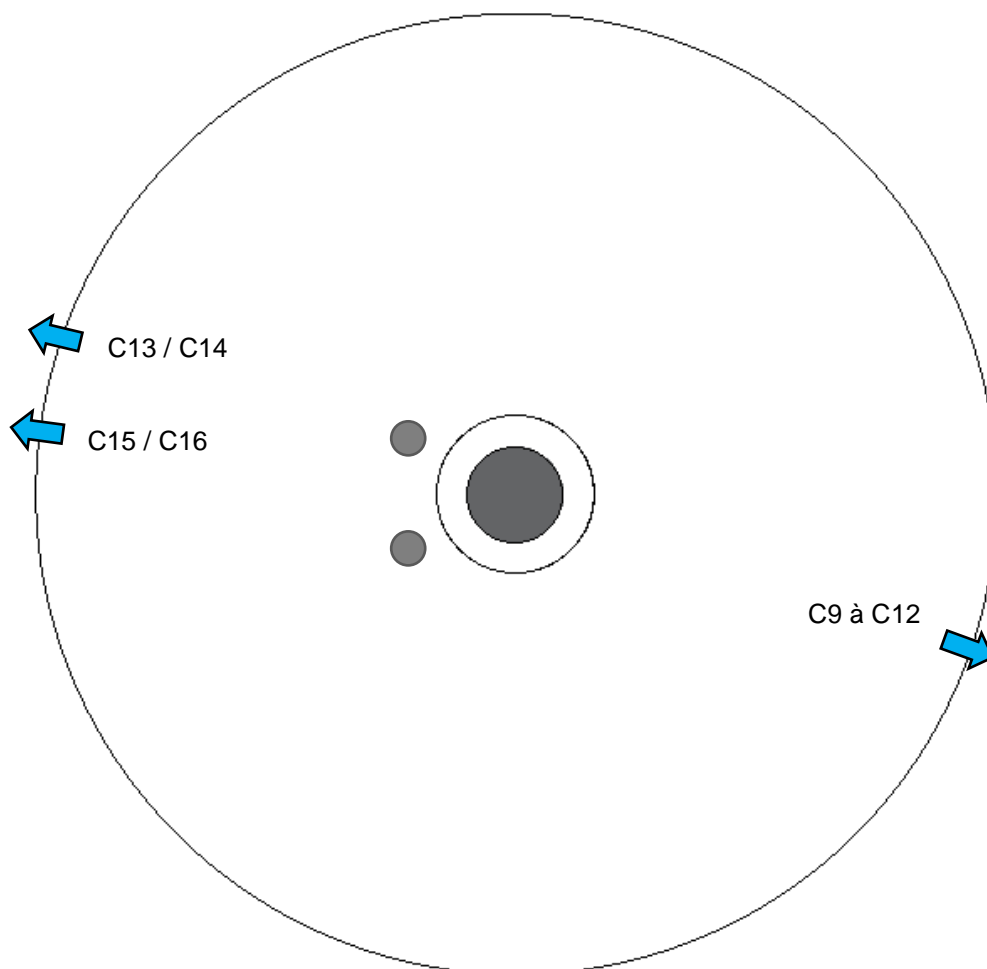
- Surface de la dalle haute de la cuve et belvédère :



**Légende :**

 Mesures de profondeur de carbonatation en parement extérieur

- Palier intermédiaire / Sous-face de la dalle basse de la Cuve :



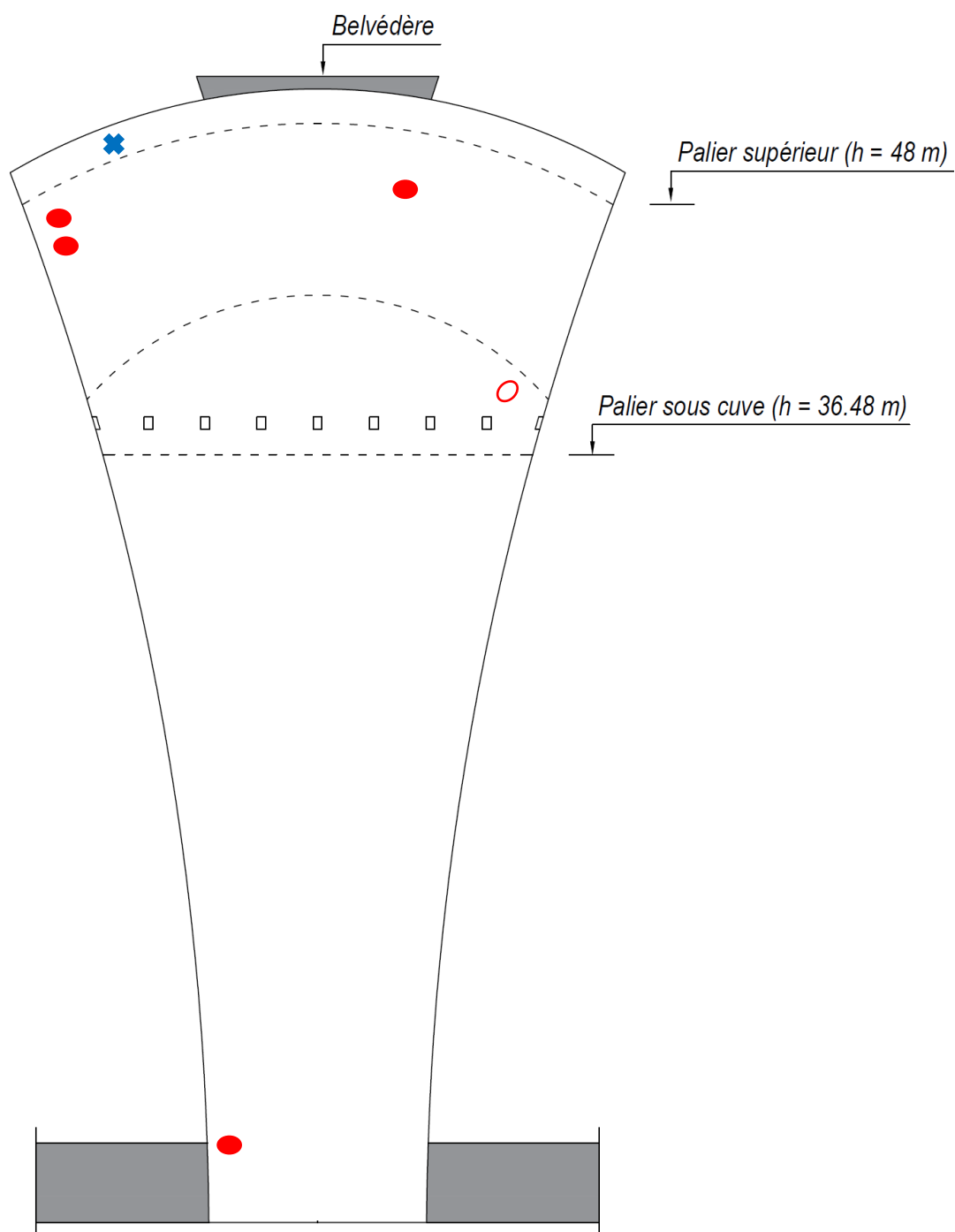
**Légende :**

 Carottage diamant sous eau – C#

## ANNEXE 5 : RESERVOIR SUR TOUR - IMPLANTATION DES DESORDRES DE TYPE : 1, 2, 3 ET 4



➤ Façade Est :

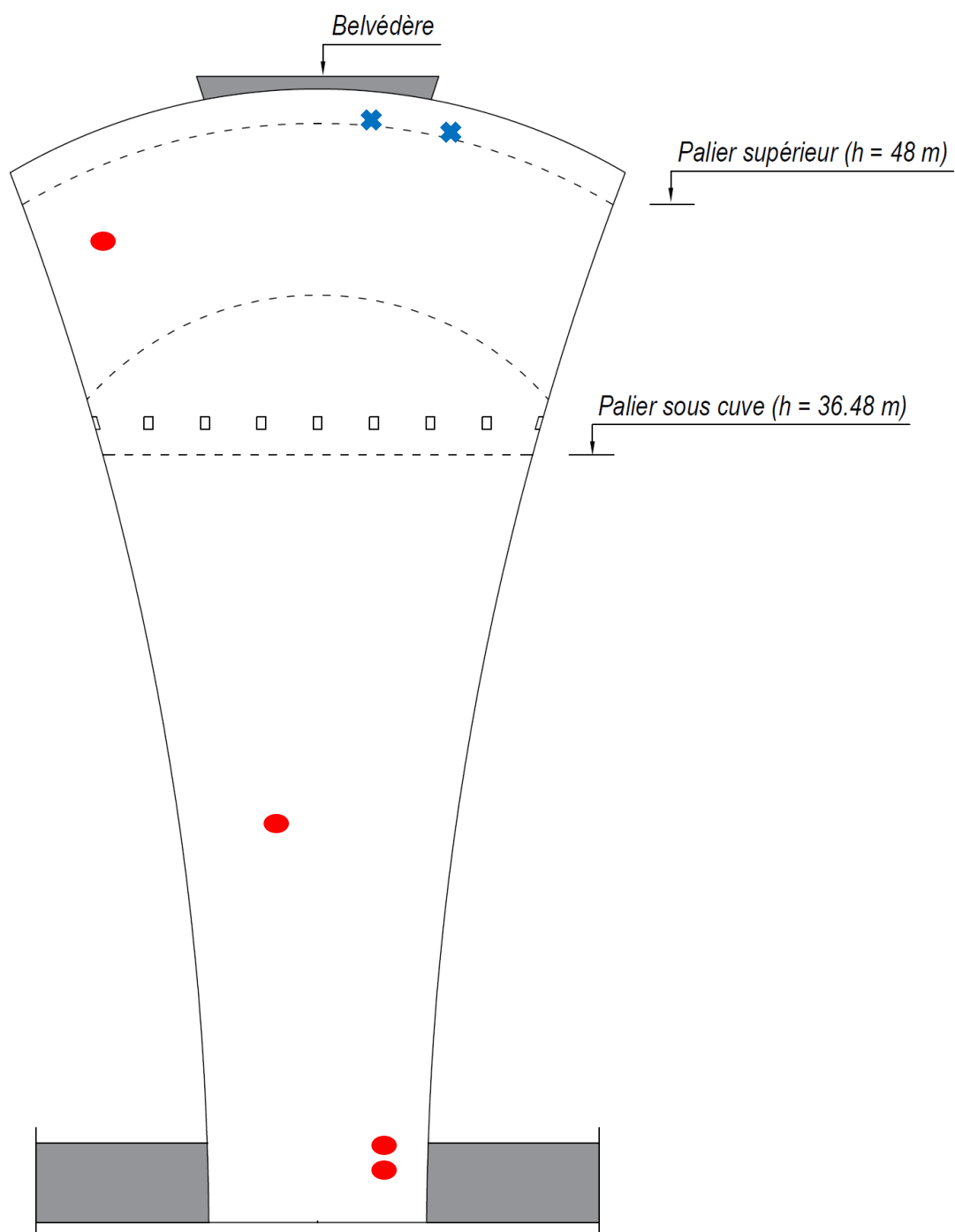


**Légende :**

- Type 1 : Epaufures de béton - Eclat de béton en formation
- Type 1 : Epaufures de béton- Armatures apparents oxydés en parement extérieur
- ✕ Type 2 : Infiltrations – Traces de calcite



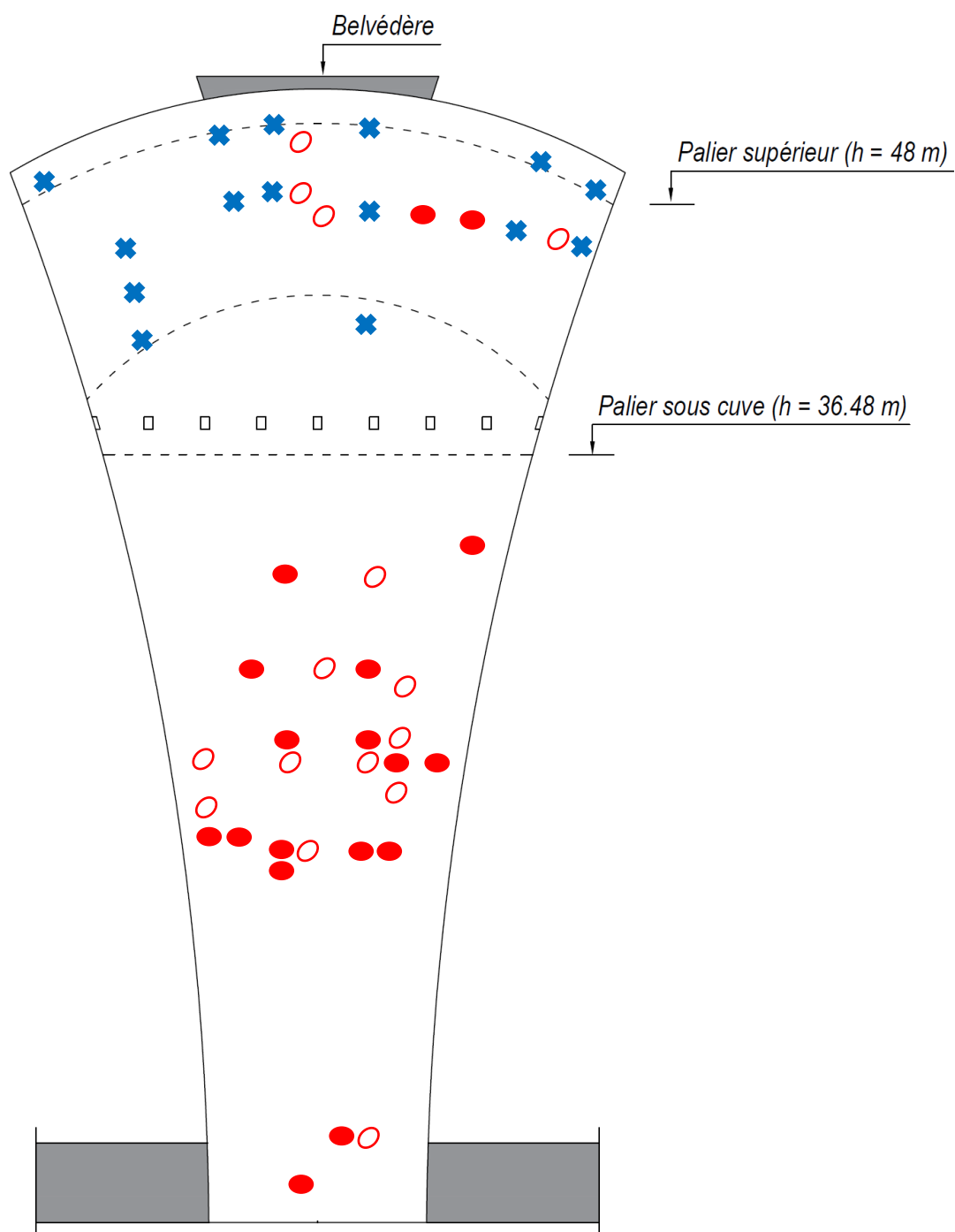
➤ Façade Nord :



**Légende :**

- Type 1 : Epaufrures de béton - Eclat de béton en formation
- Type 1 : Epaufrures de béton- Armatures apparents oxydés en parement extérieur
- ✕ Type 2 : Infiltrations – Traces de calcite

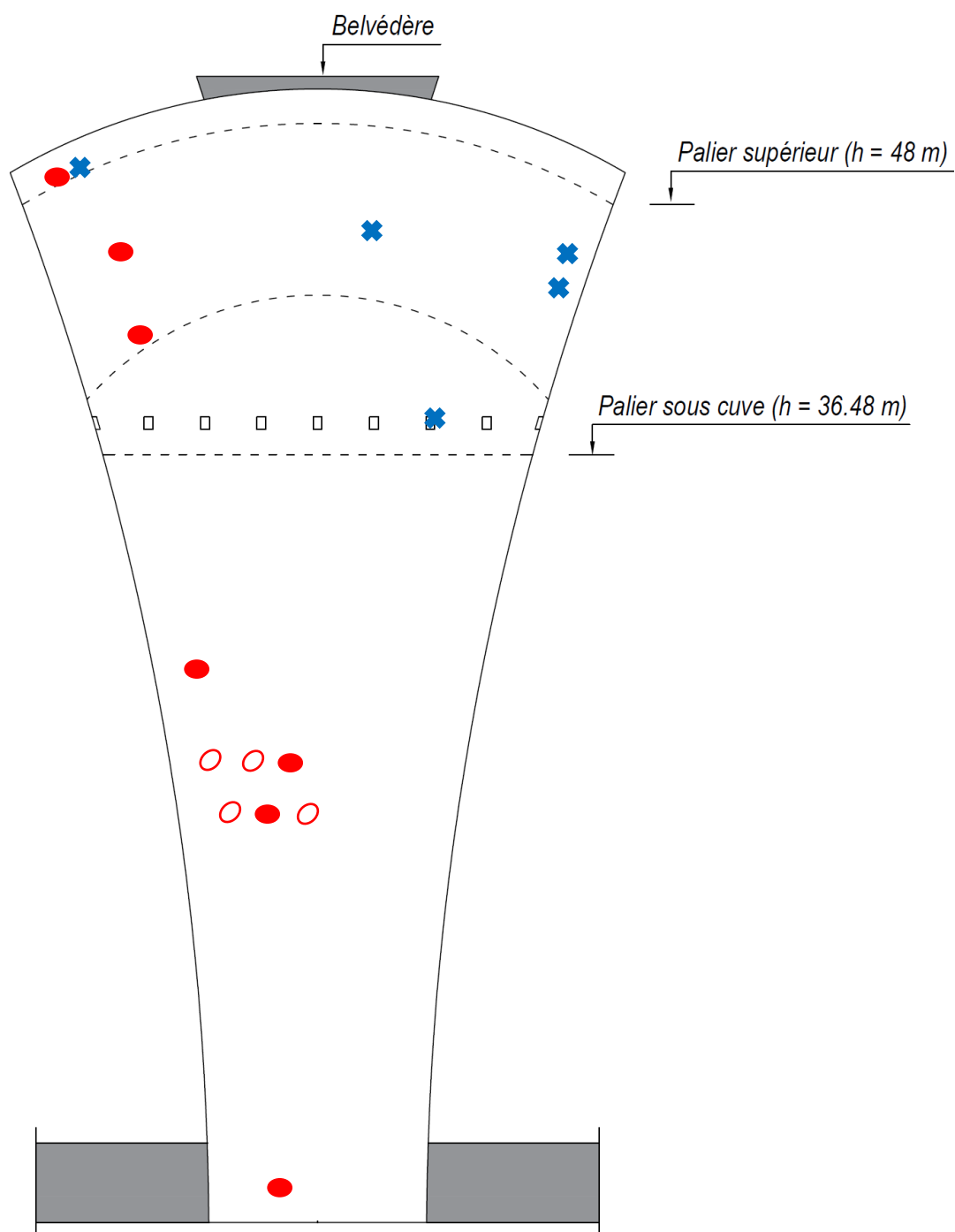
➤ Façade Ouest :



**Légende :**

- Type 1 : Epaufrures de béton - Eclat de béton en formation
- Type 1 : Epaufrures de béton- Armatures apparents oxydés en parement extérieur
- ✕ Type 2 : Infiltrations – Traces de calcite

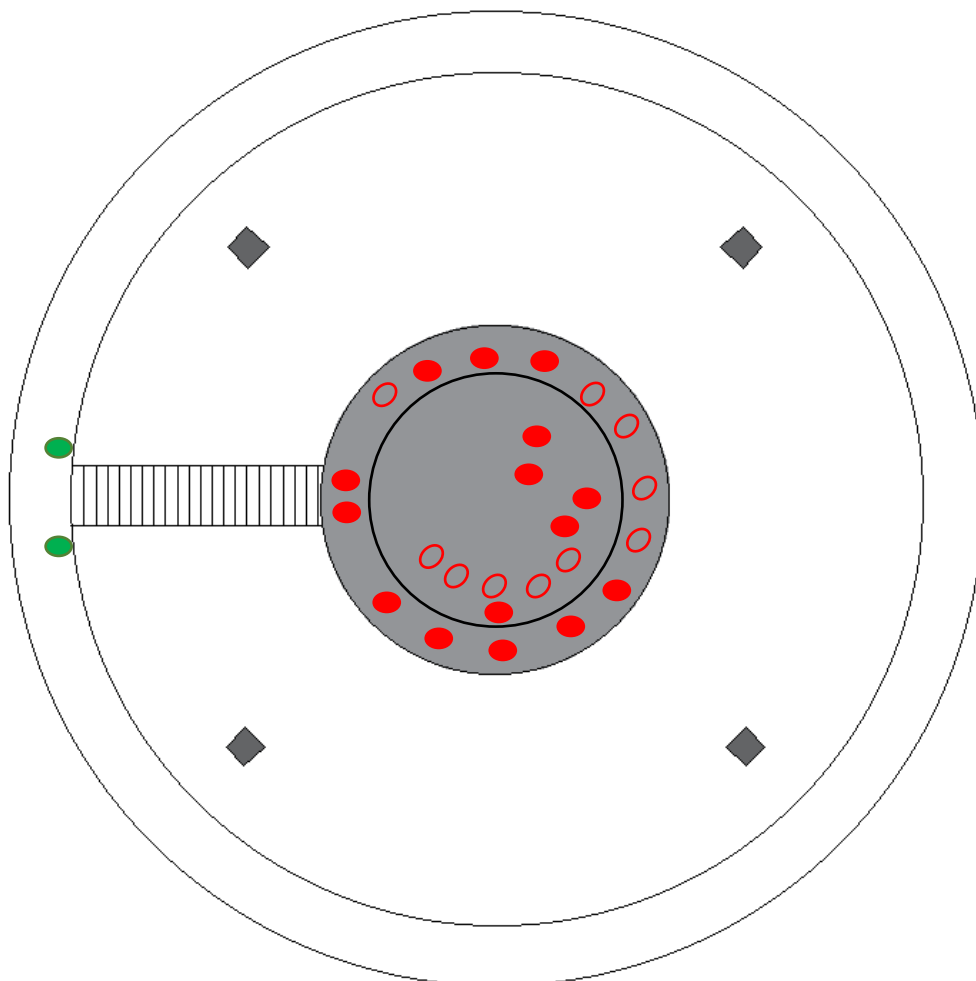
➤ Façade Sud :



**Légende :**

- Type 1 : Epaufures de béton - Eclat de béton en formation
- Type 1 : Epaufures de béton - Armatures apparentes oxydés en parement extérieur
- ✕ Type 2 : Infiltrations – Traces de calcite

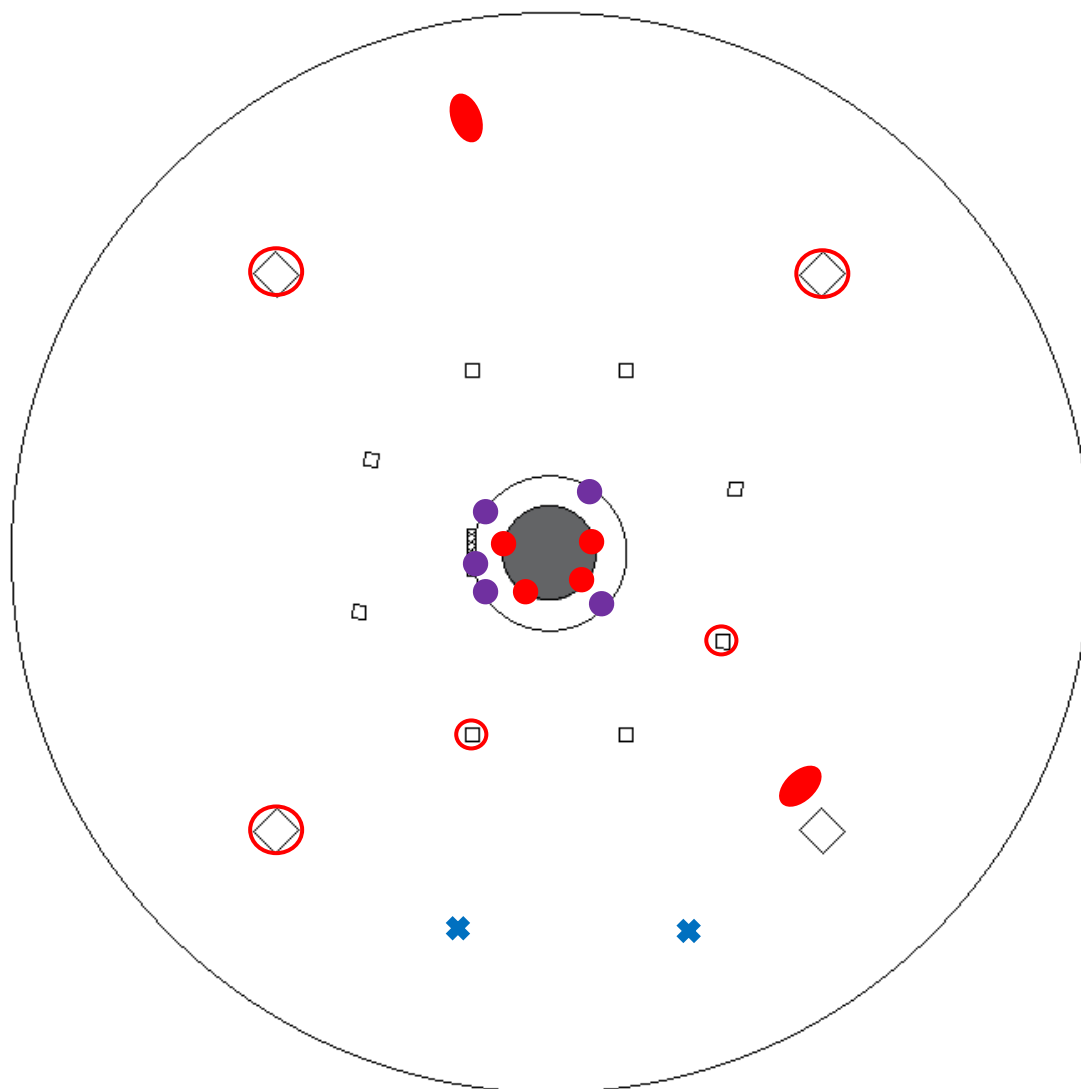
➤ Surface de la dalle haute de la dalle / sous-face du toit du belvédère :







**Légende :**

- Type 1 : Epaufrures de béton - Eclat de béton en formation en sous-face du toit du belvédère
- Type 1 : Epaufrures de béton - Armatures apparents oxydés en sous-face du toit du belvédère
- Type 4 : Défauts d'étanchéité – Présence de végétation

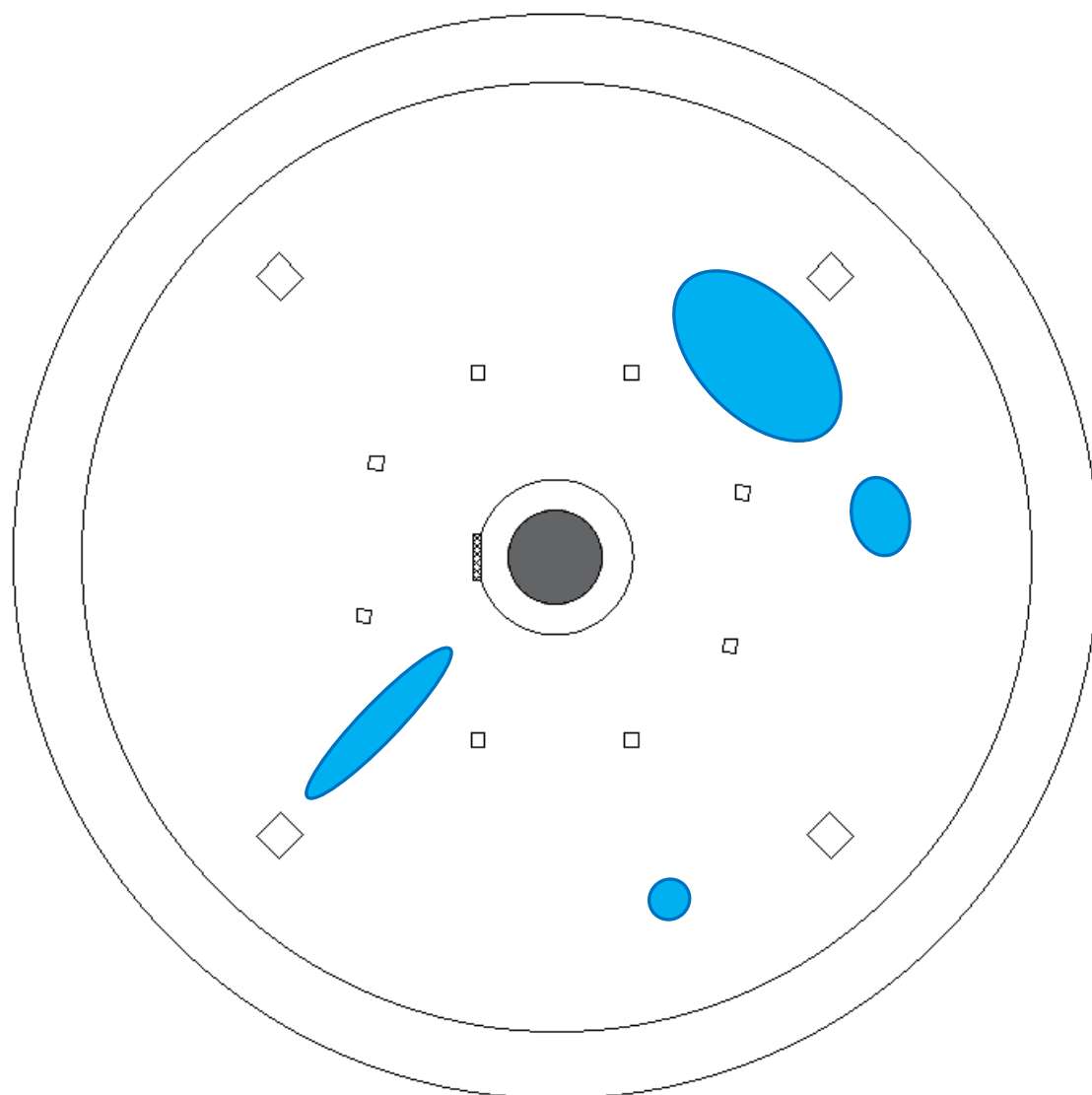
➤ Sous-face de la dalle haute de la cuve :



**Légende :**

-  Type 1 : Epaufrures de béton - Eclat de béton en formation
-  Type 1 : Epaufrures de béton - Armatures apparents oxydés en sous-face du dôme
-  Type 1 : Epaufrures de béton - Armatures apparents oxydés en sous-face de la passerelle
-  Type 2 : Infiltrations – Traces de calcite

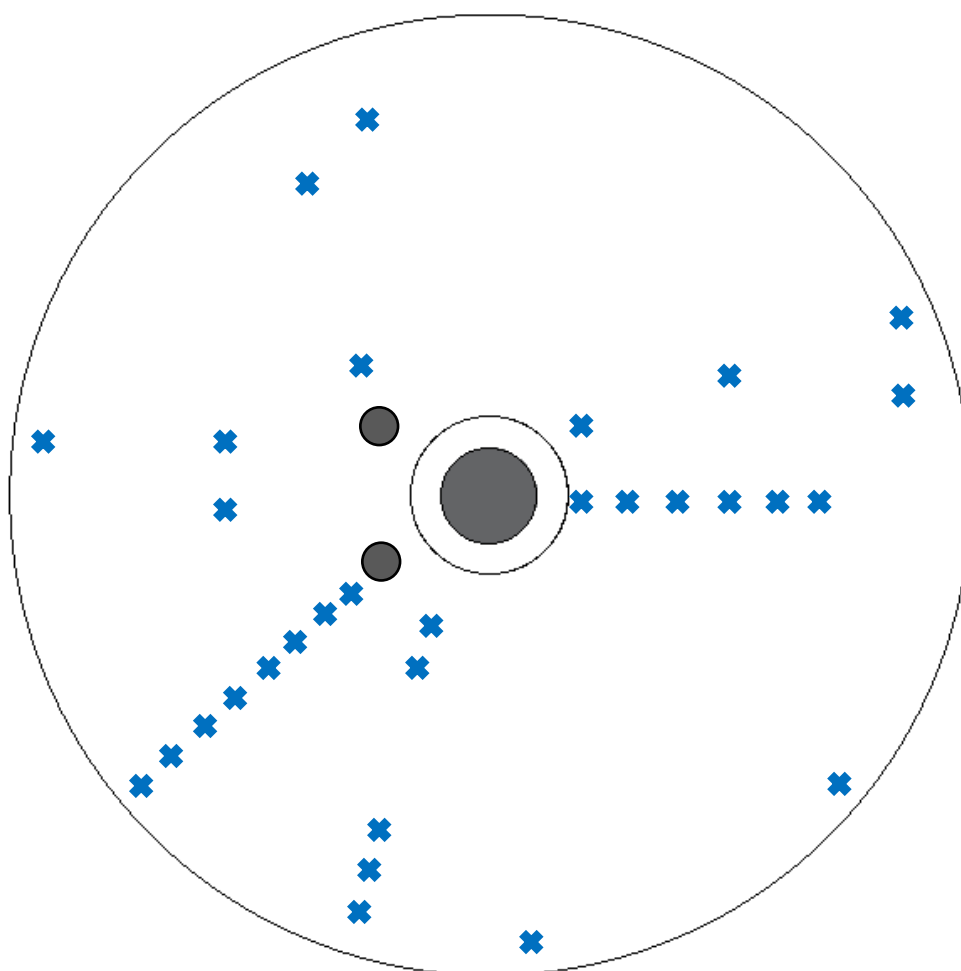
- Surface de la dalle basse de la cuve (fond) :



**Légende :**

- Type 4 : Défauts d'étanchéité – Cloquage de l'étanchéité

➤ Palier intermédiaire / Sous-face de la dalle basse de la cuve :



**Légende :**

✕ Type 2 : Infiltrations – Traces de calcite

## ANNEXE 6 : RESERVOIR SUR TOUR - DOSSIER PHOTOGRAPHIQUE

Sous-face de la dalle basse de la cuve :



Photographie 72 : Désordre de type 2 - Calcite





Photographie 73 : Désordre de type 2 - Calcite



Photographie 74 : Désordre de type 2 - Calcite

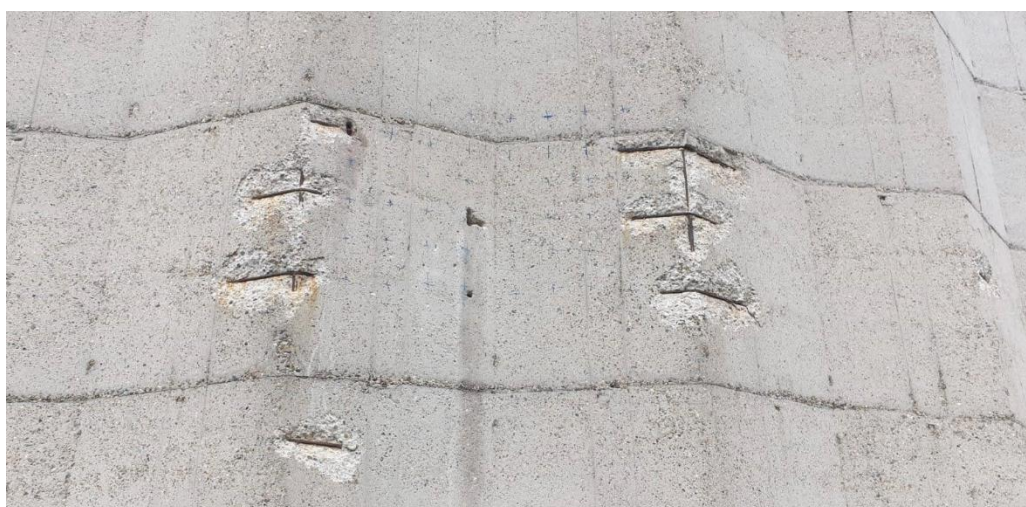
Paroi extérieure :



Photographie 75 : Désordre de type 1



Photographie 76 : Désordres de type 1 et 2



Photographie 77 : Désordre de type 1

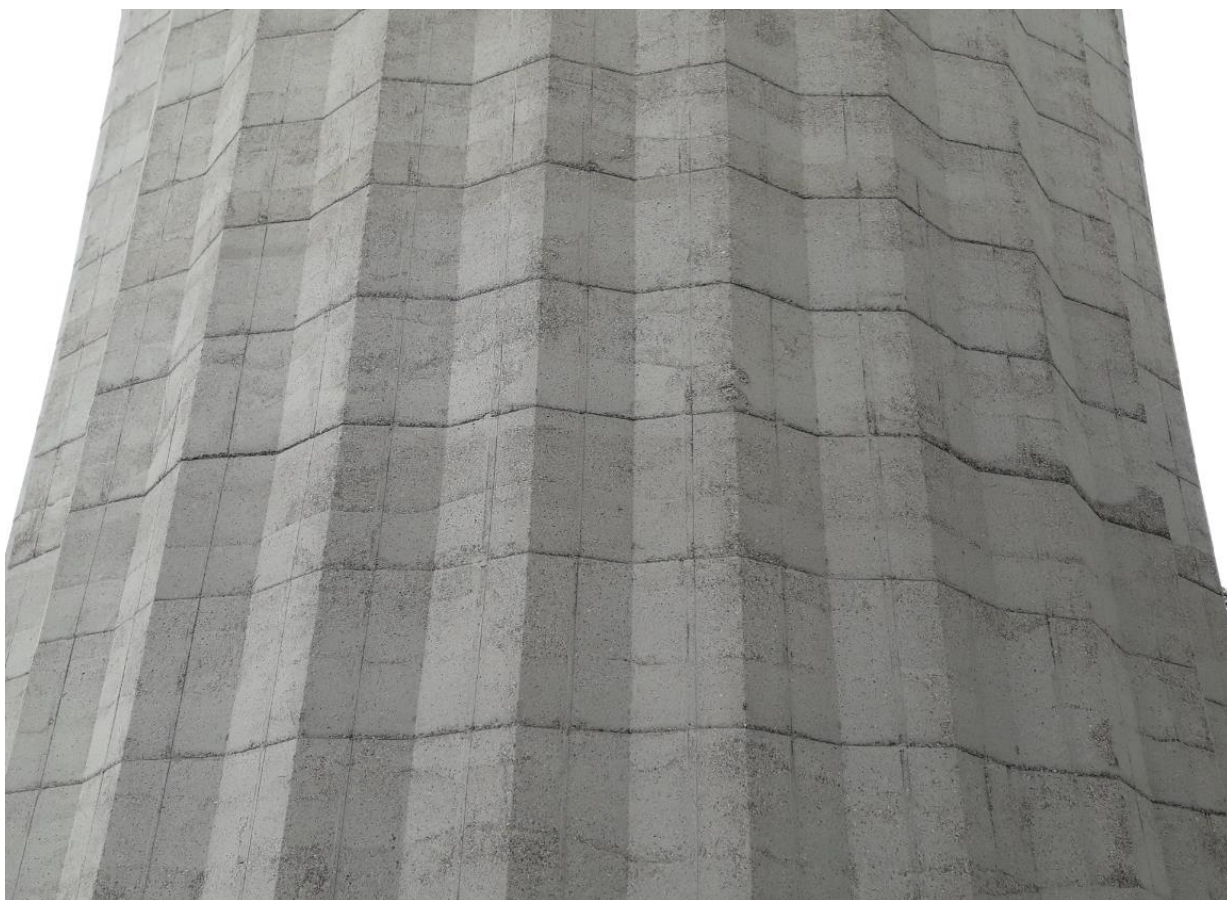




Photographie 78 : Désordre de type 1



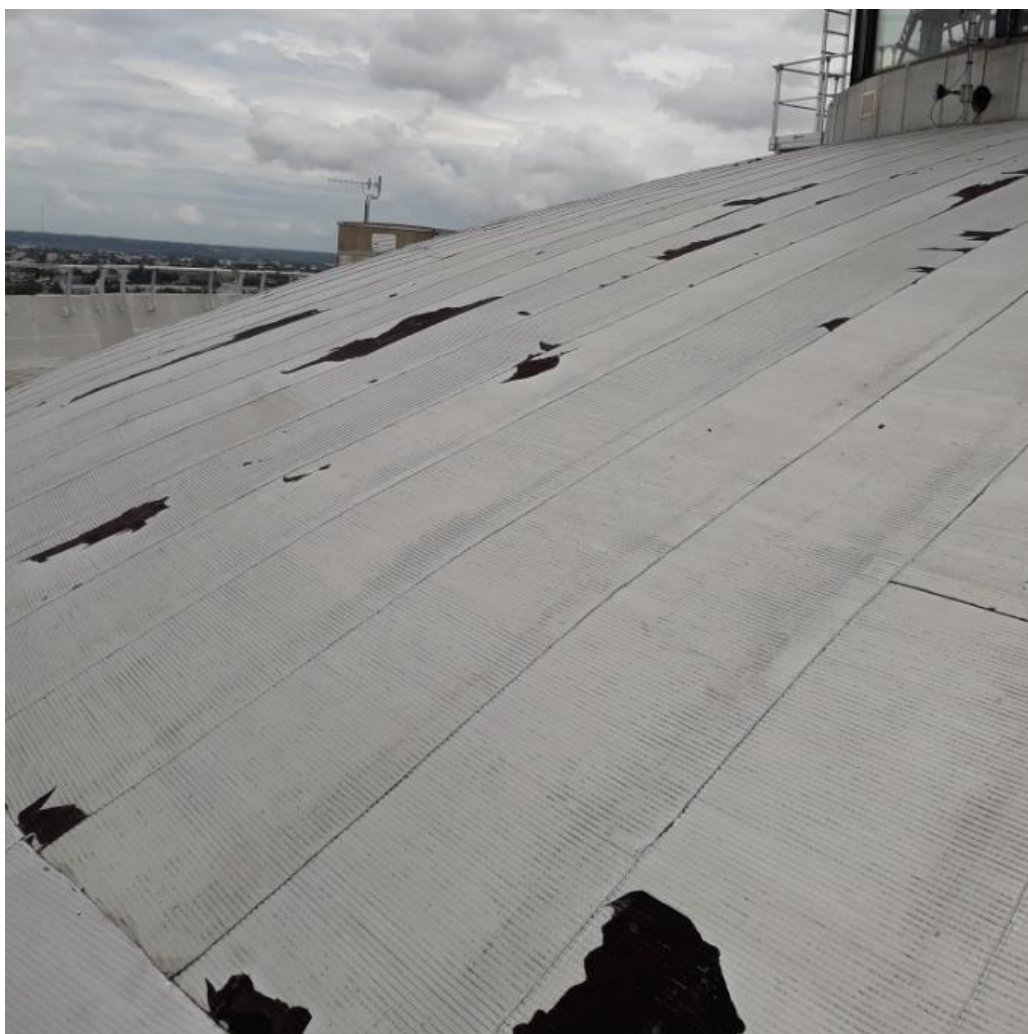
Photographie 79 : Désordre de type 1



Photographie 80 : Désordre de type 1



Surface de la dalle haute de la cuve et belvédère :



Photographie 81 : Désordre de type 4 - Vue de l'étanchéité en surface de la dalle haute de la cuve



Photographie 82 : Désordre de type 4 - Vue de l'étanchéité en surface de la dalle haute de la cuve



Photographie 83 : Désordre de type 4 - Vue de l'étanchéité en surface de la dalle haute de la cuve



Photographie 84 : Désordre de type 4 - Vue de l'étanchéité en surface de la dalle haute de la cuve





Photographie 85 : Désordre de type 4 - Vue de l'étanchéité en surface de la dalle haute de la cuve



Photographie 86 : Désordre de type 4 - Vue de l'étanchéité en surface de la dalle haute de la cuve



Photographie 87 : Désordre de type 4 - Vue de l'étanchéité en surface de la dalle haute de la cuve





Photographie 88 : Désordre de type 4 - Vue de l'étanchéité en surface du toit du belvédère



Photographie 89 : Désordre de type 4 - Vue de l'étanchéité en surface du toit du belvédère





Photographie 90 : Désordre de type 4 - Vue de l'étanchéité en surface du toit du belvédère



Photographie 91 : Désordre de type 4 - Vue de l'étanchéité en surface du toit du belvédère



Photographie 92 : Désordre de type 4 - Vue de l'étanchéité en surface du toit du belvédère



Photographie 93 : Désordre de type 4 - Vue de l'étanchéité en surface du toit du belvédère





Photographie 94 : Désordre de type 1 – Sous-face du toit du belvédère



Photographie 95 : Désordre de type 1 – Sous-face du toit du belvédère



Photographie 96 : Désordre de type 1 – Sous-face du toit du belvédère

## **ANNEXE 7 : RESERVOIR SUR TOUR - RAPPORT D'ANALYSES CHIMIQUES**

**Dossier : N°BDP6-L-0437**  
**Rapport d'essais**

**DOSSIER : N° BDP6-L-0437**

**RAPPORT D'ESSAIS 1.0 – Date : 06/08/2021**

Dossier suivi par : **Warda BEN MESSAOUD**  
☎ : 01 30 85 21 14 – 📠 : 01 30 85 23 71  
E-Mail : w.ben.messaoud@groupeginger.com

**CLIENT : GINGER CEBTP BORDEAUX**

**DOSSIER : N° SBX3-L-0013**

## I- ECHANTILLONS

**Références** : Deux carottes de béton et neuf poudres de béton référencées :

- Béton n°1 (façade est C1)
- Béton n°2 (façade ouest C2)
- Poudre zone n°1 – Cuve – P1 (0,5-1,5 cm)
- Poudre zone n°1 – Cuve – P2 (1,5-2,5 cm)
- Poudre zone n°1 – Cuve – P3 (2,5-3,5 cm)
- Poudre zone n°2 – Cuve – P4 (0,5-1,5 cm)
- Poudre zone n°2 – Cuve – P5 (1,5-2,5 cm)
- Poudre zone n°2 – Cuve – P6 (2,5-3,5 cm)
- Poudre zone n°3 – Paroi extérieure – P7 (0,5-1,5 cm)
- Poudre zone n°3 – Paroi extérieure – P8 (1,5-2,5 cm)
- Poudre zone n°3 – Paroi extérieure – P9 (2,5-3,5 cm)

**Affaire** : Château d'eau SIGDU - Pessac

**N° de réception à GINGER CEBTP à Elancourt (78)** : 143582 du 16/07/2021

## II- PROGRAMME D'ESSAIS

L'objet de la demande des essais est :

- d'analyser deux échantillons de béton en vue d'estimer leur dosage en ciment, leur taux d'hydratation et leur rapport E/C ;
- d'effectuer le dosage des chlorures libres sur les neuf poudres de béton.

Préparation des échantillons avant analyse chimique et taux d'hydratation :

- Pré séchage des échantillons dans une étuve ventilée à 40°C.
- Broyage à 0,315 mm.

*Observations : Le présent rapport comprend 7 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.*

Ginger CEBTP – S.A.S.U. au capital de 2 597 660 €

Siège social : 12, avenue Gay Lussac – ZAC la Clef Saint Pierre – 78990 Elancourt – Tél. : 01 30 85 24 00

RCS Versailles B 412 442 519 – Code APE 7112 B – N°T.V.A : FR 31 412 442 519

Email : cebtp.idf@groupe-cebtp.com – Site internet : www.groupe-cebtp.com



### Essais :

- Examen au microscope électronique à balayage afin d'identifier les ajouts et les charges du béton n°1 (façade est C1).
- Analyse chimique élémentaire comprenant :
  - Dosage des principaux oxydes traceurs ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ) par spectrométrie d'émission plasma à couplage inductif.
  - Détermination du résidu insoluble après une attaque acide.
  - Détermination des pertes au feu à  $80^\circ\text{C}$ ,  $550^\circ\text{C}$  et  $975^\circ\text{C}$  par calcination.
  - Test des sulfures à l'aide du papier d'acétate de plomb.
- Mesure de densité et de porosité selon la norme NF P18-459.
- Estimation du taux d'hydratation par la méthode Karl Fischer et du rapport pondéral Eau sur Ciment (E/C).
- Dosage des chlorures libres ( $\text{Cl}_{\text{libres}}$ ) par potentiométrie après mise en solution dans l'eau selon le mode opératoire recommandé par GranDuBé.
- Dosage de la silice ( $\text{SiO}_2$ ) par spectrométrie d'émission plasma à couplage inductif (ICP-OES) selon le mode opératoire recommandé par GranDuBé afin d'exprimer les résultats de teneurs en chlorures par rapport au ciment.

**Date des essais :** Juillet 2021

## III- RESULTATS

### **III-1- Dosage en ciment et rapport E/C sur les deux bétons**

#### **Identification des ajouts et des charges par microscopie électronique à balayage**

L'observation microstructurale de l'échantillon de béton n°1 (façade est C1) a mis en évidence :

- des charges majoritairement siliceuses et plus faiblement calcaires et feldspathiques,
- la présence d'additions de type laitier.
- l'absence d'additions de type cendres volantes.

Le ciment serait de type CEM II à base de laitier ou CEM III.

**Analyse chimique élémentaire, densité apparente, porosité (% volumique des vides), teneur en eau totale et teneur en CO<sub>2</sub>**

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant :

		Béton n°1 (façade est C1)	Béton n°2 (façade ouest C2)	
<b>Perte au feu</b>	<b>PAF 975 °C</b>	<b>6,58</b>	<b>7,33</b>	<b>%</b>
<i>dont perte à 80 °C</i>	<i>PAF 80 °C</i>	<i>1,23</i>	<i>1,37</i>	<i>%</i>
<i>dont perte à 550 °C</i>	<i>PAF 550 °C</i>	<i>5,29</i>	<i>6,37</i>	<i>%</i>
<b>Insoluble</b>	<b>INS</b>	<b>77,42</b>	<b>79,78</b>	<b>%</b>
<b>Silice soluble</b>	<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>3,38</b>	<b>3,17</b>	<b>%</b>
<b>Oxyde de fer</b>	<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>0,39</b>	<b>0,36</b>	<b>%</b>
<b>Alumine</b>	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>1,16</b>	<b>0,94</b>	<b>%</b>
<b>Oxyde de calcium</b>	<b>CaO</b>	<b>9,14</b>	<b>8,14</b>	<b>%</b>
<b>Anhydride sulfurique</b>	<b>SO<sub>3</sub></b>	<b>0,62</b>	<b>0,41</b>	<b>%</b>
<b>Sulfure</b>	<b>S</b>	<b>Présence</b>	<b>Présence</b>	
<b>Magnésie</b>	<b>MgO</b>	<b>0,29</b>	<b>0,27</b>	<b>%</b>
<b>Oxyde de sodium</b>	<b>Na<sub>2</sub>O</b>	<b>0,04</b>	<b>0,02</b>	<b>%</b>
<b>Oxyde de potassium</b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>	<b>0,08</b>	<b>0,06</b>	<b>%</b>
Densité apparente sèche		2,22	2,23	
Porosité (% volumes de vides)		15,3	14,7	%
% eau totale		5,20	4,58	%
% CO <sub>2</sub>		1,29	0,96	%

**Analyse chimique, densité, porosité, teneur en eau totale et teneur en CO<sub>2</sub>**

La teneur en CO<sub>2</sub> correspond à la différence entre la perte au feu à 975°C et la perte au feu à 550°C.

## Estimation de la teneur en ciment

### Teneur en ciment par la méthode des inertes

La teneur en ciment C s'exprime selon la relation suivante :

$$C (\%) = 100 - [\text{insoluble} + \text{PAF } 975^{\circ}\text{C}]$$

Nous sommes dans un cas où les charges sont essentiellement siliceuses ; on considère dans ce cas que tout le  $\text{CO}_2$  provient de la carbonatation du liant.

Le tableau suivant donne les valeurs de C obtenues d'après ces calculs :

	Béton n°1 (façade est C1)	Béton n°2 (façade ouest C2)
C (%)	16,0	12,9

Teneurs en ciment

## Estimation du dosage en ciment

La détermination du dosage en ciment en  $\text{kg/m}^3$  est alors égale à la teneur en ciment la plus probable C multipliée par 10 fois la densité du matériau.

Le tableau suivant donne le dosage en ciment obtenu d'après ce calcul :

	Béton n°1 (façade est C1)	Béton n°2 (façade ouest C2)
Dosage ciment ( $\text{kg/m}^3$ ) ( $\pm 10\%$ )	355	290

Dosages en ciment

## Taux d'hydratation des bétons

Le pourcentage d'eau totale contenue dans l'échantillon est déterminé par le titrateur Karl Fisher (KF) en atmosphère inerte.

L'eau libre (eau d'humidité) est donnée par la perte au feu à  $80^{\circ}\text{C}$ .

On détermine le pourcentage d'eau liée de la façon suivante :

$$\% \text{ eau liée / matériau} = \% \text{ eau totale (KF)} - \% \text{ eau libre (80}^{\circ}\text{C)}$$

Les résultats de pourcentage d'eau liée par rapport au ciment obtenus sont présentés dans le tableau suivant :

	Béton n°1 (façade est C1)	Béton n°2 (façade ouest C2)
% Perte au feu 80°C	1,23	1,37
% eau totale	5,20	4,58
% ciment	16,0	12,9
% eau liée / matériau	3,97	3,21
<b>% eau liée / ciment</b>	<b>24,8</b>	<b>24,9</b>

Pourcentages d'eau liée par rapport au ciment

### Estimation du rapport E/C

L'eau E exprimée en litre est calculée de la façon suivante :

$$E (L) = \text{Porosité accessible à l'eau (L)} + \text{Eau liée (L)} - \text{Air Occlus (L)} - \text{Air piégé par les granulats (L)}$$

On estime l'air occlus du béton compris entre 1,5 et 3 % et le coefficient d'absorption des granulats compris entre 0,5 et 2,5 %.

On obtient alors des rapports pondéraux E/C répertoriés dans le tableau suivant :

	Béton n°1 (façade est C1)	Béton n°2 (façade ouest C2)
<b>E/C</b>	<b>0,50 – 0,60</b>	<b>0,55 – 0,70</b>

Estimation du rapport Eau / Ciment

### III-2- Teneurs en chlorures libres dans les poudres de béton

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

Références	% silice	% ciment*	% Cl <sub>libres</sub>	% Cl <sub>libres</sub> / ciment
Poudre Zone n°1 – Cuve – P1 (0,5-1,5 cm)	3,30	14,5	0,007	<b>0,04</b>
Poudre Zone n°1 – Cuve – P2 (1,5-2,5 cm)	4,19	18,4	0,003	<b>0,02</b>
Poudre Zone n°1 – Cuve – P3 (2,5-3,5 cm)	3,79	16,6	0,004	<b>0,02</b>
Poudre Zone n°2 – Cuve – P4 (0,5-1,5 cm)	3,95	17,3	0,004	<b>0,02</b>
Poudre Zone n°2 – Cuve – P5 (1,5-2,5 cm)	4,43	19,4	0,006	<b>0,03</b>
Poudre Zone n°2 – Cuve – P6 (2,5-3,5 cm)	4,84	21,2	0,004	<b>0,02</b>
Poudre Zone n°3 – Paroi extérieure – P7 (0,5-1,5 cm)	2,30	10,1	0,015	<b>0,15</b>
Poudre Zone n°3 – Paroi extérieure – P8 (1,5-2,5 cm)	2,84	12,5	0,024	<b>0,19</b>
Poudre Zone n°3 – Paroi extérieure – P9 (2,5-3,5 cm)	3,15	13,8	0,008	<b>0,06</b>

\* : La teneur en ciment est calculée par analogie avec les analyses chimiques des bétons à cœur.



## IV- SYNTHESE

### IV-1- Analyses chimiques

La synthèse des résultats des analyses chimiques est rapportée dans le tableau suivant :

	Béton n°1 (façade est C1)	Béton n°2 (façade ouest C2)
Dosage en ciment (kg/m³)*	355	290
Porosité à cœur (% volumes de vides)	15,3	14,7
Rapport E/C	0,50 – 0,60	0,55 – 0,70
Taux d'hydratation (%) **	99	100

Tableau de synthèse des analyses chimiques

\* : Ces estimations ont été faites à partir de l'hypothèse des inertes en considérant les charges essentiellement siliceuses.

\*\* : Ces taux d'hydratation ont été déterminés en considérant que l'hydratation maximale des ciments est de 25 %. Les bétons ne présentent pas de défaut d'hydratation.

### IV-2- Teneur 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/CN qui spécifie cette teneur en amont des fabrications de béton contenant des armatures en acier ou des pièces métalliques noyées).

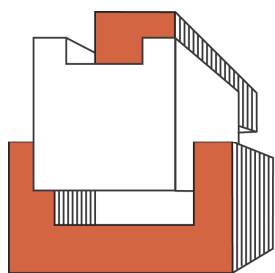
Dans le cas présent, les poudres de béton analysées présentent des teneurs en chlorures libres inférieures à la teneur critique.

**W. BEN MESSAOUD**  
Chargée d'affaires

## **ANNEXE 8 : RAPPORT ETANDEX N° 2.34660**

### **N° Chantier 2.34660**

### **Rapport d'essai de cohésion superficielle**



**ÉTANDEX**

**Reportage Photo**

**N° Chantier 2.34660**

**Rapport d'essai de cohésion superficielle**

11/07/2019

## PRESENTATION DES ESSAIS

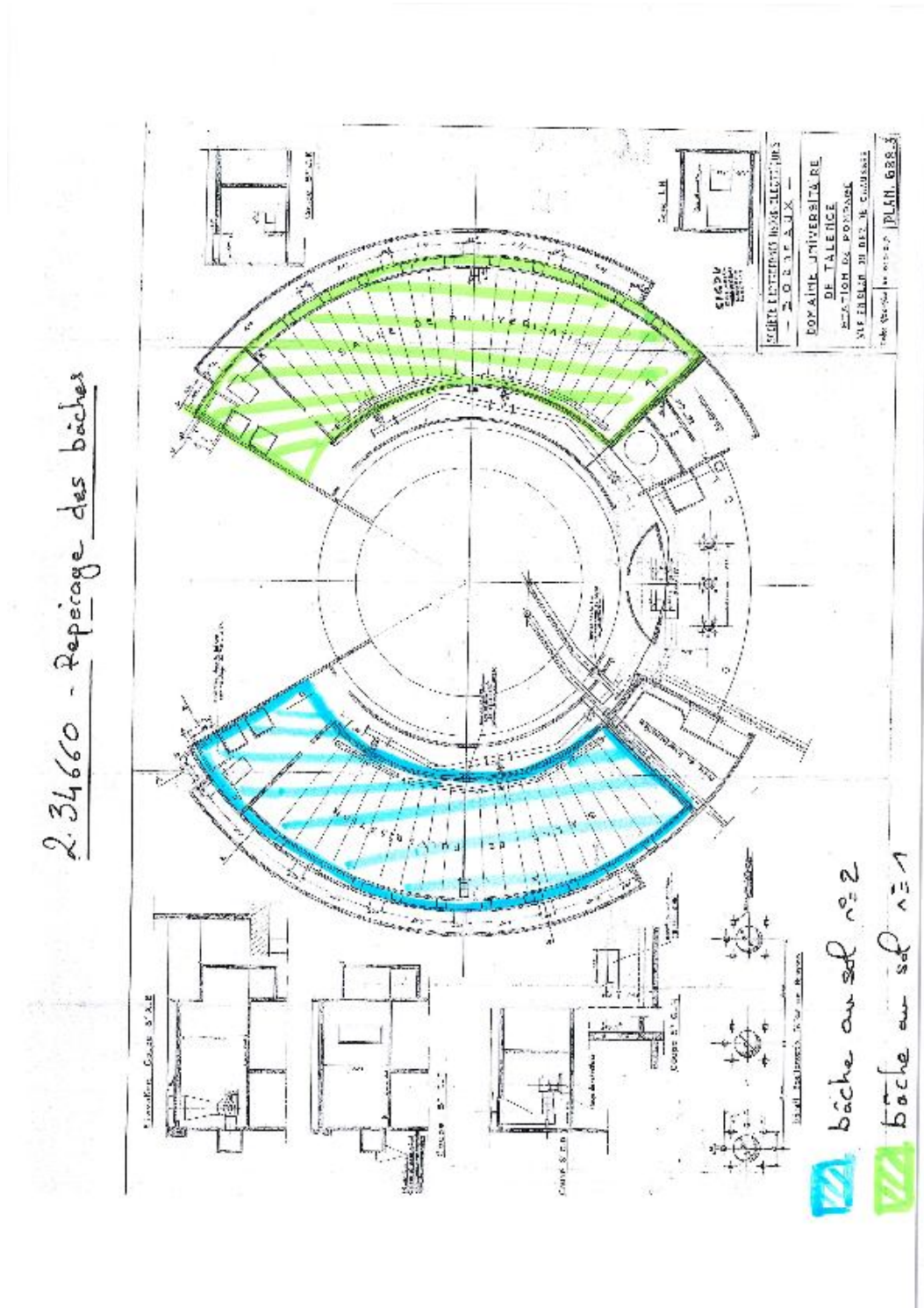
Dans le cadre de la réfection des traversées de canalisation des baches au sol et du traitement des fissures du réservoir sur tour du château d'eau de l'université de PESSAC, nous avons réalisé une série d'essai de cohésion sur les supports support.

Les fiches de réception du support transmises correspondent aux locaux suivants :

Fiche de réception « bâche au sol n1 » : bâche annotée n°1 sur le plan de repérage joint

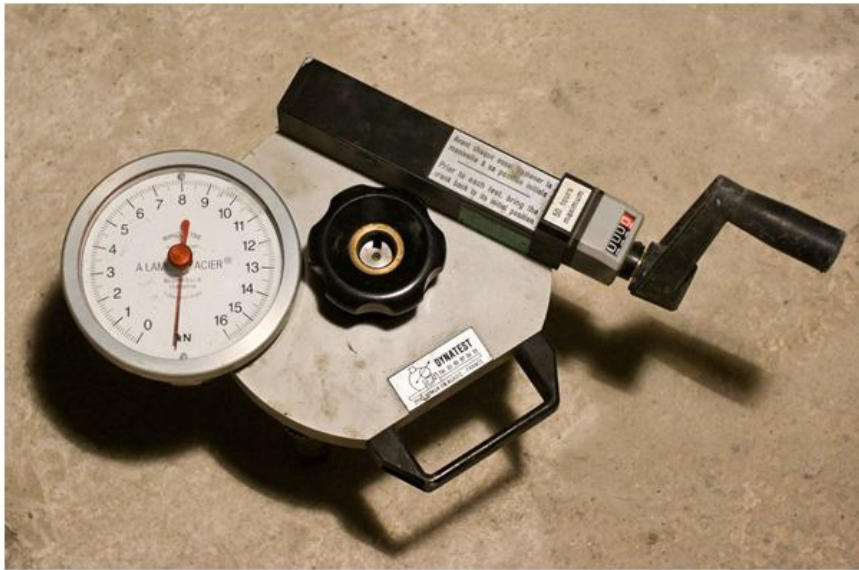
Fiche de réception « bâche au sol n2 » : bâche annotée n°2 sur le plan de repérage joint

Fiche de réception « cuve aérienne » : dôme et voile périphériques à hauteur d'homme du réservoir sur tour



### *Présentation du protocole d'essai :*

- Préparation des pastilles par ponçage
- Préparation de la colle époxy ACS
- Après dépolissage préalable, encollage des pastilles
- Après séchage arrachage des pastilles à l'aide du dynamomètre à soufflet :
  - tronçonnage 3mm à ras de la pastille à la disqureuse diamant
  - mise à zéro du compteur de la manivelle
  - mise en place de l'appareil sur la pastille (à l'aide de la vis à tête sphérique)
  - blocage de l'appareil sur le support à l'aide du volant
  - ajustement des trois pieds de l'appareil sur le support
  - mise à zéro des deux aiguilles
  - montée en traction à l'aide de la manivelle à vitesse constante jusqu'à arrachage de la pastille
  - relever la valeur de force d'arrachage obtenue (aiguille rouge)
  - Déposer l'appareil et passer à la pastille suivante
  - Remplir la fiche de contrôle via l'application SCENARI



*dynamomètre à soufflet*



*pastille sur support*

*(après séchage et tronçonnage à ras)*



*pastille après rupture*

*(rupture cohésive support type A)*



*support après rupture*



## ANALYSE DES RESULTATS

Les fiches de contrôle sont disponibles en annexe du présent document.

### Fiche de réception « bâche au sol n1 »

La valeur moyenne retenue dans le cadre de la fiche de contrôle est de 5,30 kN. Il s'agit de la plus petite valeur relevée. La prise en compte de cette valeur est due au nombre important (> 40% du nombre total d'essais) de valeurs dont la variation par rapport à la force moyenne est supérieure à 20%.

Ainsi, la valeur contrainte moyenne est de 2,12 MPa qui est conforme au CCT n°20 OSTRAL des Ets SPPM.

### Fiche de réception « bâche au sol n2 »

La valeur moyenne retenue dans le cadre de la fiche de contrôle est de 2,60 kN. Il s'agit de la plus petite valeur relevée. La prise en compte de cette valeur est due au nombre important (> 40% du nombre total d'essais) de valeurs dont la variation par rapport à la force moyenne est supérieure à 20%.

Ainsi, la valeur contrainte moyenne est de 1,04 MPa qui est non conforme au CCT n°20 OSTRAL des Ets SPPM.

Néanmoins, après sondages approfondis, nous constatons la présence d'une réparation mortier peu adhérente.

Les autres valeurs mesurées sur béton sont conformes au CCT n°20 OSTRAL. Il conviendra donc d'apporter une attention particulière aux réparations mortier lors de la réfection de l'étanchéité des bâches.

L'article VII. 1. 04 « Support anciens revêtus d'un revêtement minéral » du CCT n°20 OSTRAL décrit le protocole suivant :

#### **VII. 1. 04      SUPPORTS ANCIENS REVÊTUS D'UN REVÊTEMENT MINÉRAL**

Les parois revêtues d'un enduit ciment mince ou épais seront préparées de la manière suivante :

- Détartrage de l'ensemble des surfaces
- Sonnage du revêtement et repérage des zones « sonnant creux »
- Délimitation des zones par des rectangles en mordant sur les zones adhérentes
- Découpage des zones à la tronçonneuse puis élimination de celles-ci
- Nettoyage des zones adhérentes suivant le degré d'encrassement :
  - Sablage à sec ou hydrosablage dans ce cas un nettoyage à l'eau supplémentaire est nécessaire.
  - Nettoyage haute pression.
  - Ponceage suivi d'un nettoyage à l'eau.

Les manques d'enduit seront reconstitués suivant l'épaisseur à l'aide de mortier hydraulique de type :

- Weber mur plus et Weber rep VM 216 de la société WEBER
- 736 Lankocrete MPRA de chez PAREXLANKO

Nota :

- Dans le cas d'un réservoir enterré, seuls seront utilisés le Weber rep VM216 et le 736 Lankocrete MPRA.
- Un délai de séchage de 8 à 15 jours sera respecté avant la mise en œuvre du primaire ETANPRIM SH.
- Pour réduire le temps de séchage à 24 heures les manques d'enduit seront reconstitués à l'aide d'un mortier de résine époxy.

### Fiche de réception « cuve aérienne »

NOTA : le support est constitué d'un revêtement d'imperméabilisation enduit hydraulique épais appliqué en adhérence sur le support béton de l'ouvrage.

La valeur moyenne retenue dans le cadre de la fiche de contrôle est de 4,00 kN. Il s'agit de la plus petite valeur relevée. La prise en compte de cette valeur est due au nombre important (> 40% du nombre total d'essais) de valeurs dont la variation par rapport à la force moyenne est supérieure à 20%.

Ainsi, la valeur contrainte moyenne est de 1,60 MPa qui est conforme au CCT n°20 OSTRAL des Ets SPPM.



Néanmoins, le sondage phonique du dôme révèle des zones de cloquage au droit fissurations du revêtement.

Vous trouverez ci-dessous le repérage des zones présentant un manque d'adhérence entre le revêtement d'imperméabilisation et le support béton



NOTA : la zone de cloquage s'étend jusqu'en pied de canalisation





## ANNEXE

---

## CHANTIER

Nom	CHATEAU D'EAU UNIVERSITE
Ville	33400 - TALENCE
Client	UNIVERSITE BORDEAUX MONTAIGNE

## bâche au sol n1

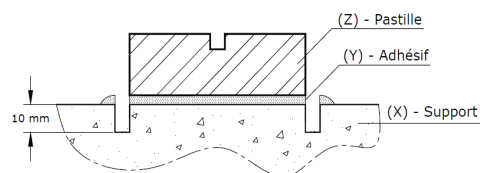
Numéro	2.34660
Conducteur de Travaux	ANS
Activité	CRSTR

## CONTRÔLE

Date	03/07/2019 13:03
Nature des contrôles	COHESION SUPERFICIELLE DU SUPPORT
Procédé	ÔSTRAL (CCT 20)
Zone, Maille	
Nature du support	Béton
Classement du local	/
Destination du support	Tous supports
Type de préparation	Ponçage
Machine de traction	
N° de série	DL Validité Étalonnage
Pastilles	Carrée (50 x 50 mm) - surface 25 cm <sup>2</sup>

LEGENDE « NATURE DE LA RUPTURE SELON NORME NF 1542 »

XC	Rupture cohésive dans le support
XP	Rupture cohésive en peau de support
T	Rupture adhésive entre le support et la colle
Y	Rupture cohésive dans la colle
Z	Rupture adhésive entre la colle et la pastille



## Mesures

	Type de rupture *	Force de rupture en kN	Force moyenne	Variation $V = \frac{F_i - F_{moy}}{F_{moy}}$	Valeurs des efforts à garder ( V  < 0,2) en kN **	Force moyenne en kN (ou valeur minimale)	Contrainte moyenne en Mpa $\sigma = F / S$	Valeur requise $\sigma_{admise}$ en MPa	Conformité
1	XC	6,9	7,16	-0,04	6,9	5,30	2,12	1,50	CONFORME
2	XC	6,9		-0,04	6,9				
3	XC	5,4		-0,25					
4	XC	5,3		-0,26					
5	XC	11,3		0,58					
6									
7									
8									
9									
10									

\* Les valeurs en peau de colle ou dans la colle (Y) sont éliminées

\*\* Pour chaque nature de support (béton, mortier, ragréage) et localisation ou zone (plafond, voile, sol) calculer la moyenne en éliminant les variations supérieures à 20% (au-delà de l'élimination de 40% des valeurs, REFAIRE L'ESSAI OU GARDER LA VALEUR LA PLUS PETITE)

## SIGNATURES

Contrôle ETANDEX		Contrôle EXTERIEUR		
Nom	ANS	Nom		Conformité
Date	03/07/2019 13:02	Date		<input checked="" type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON
Visa		Visa		



**Description** Photo de situation

Photo 1 sur 5

**Description** Pastille numéro 1

Photo 2 sur 5





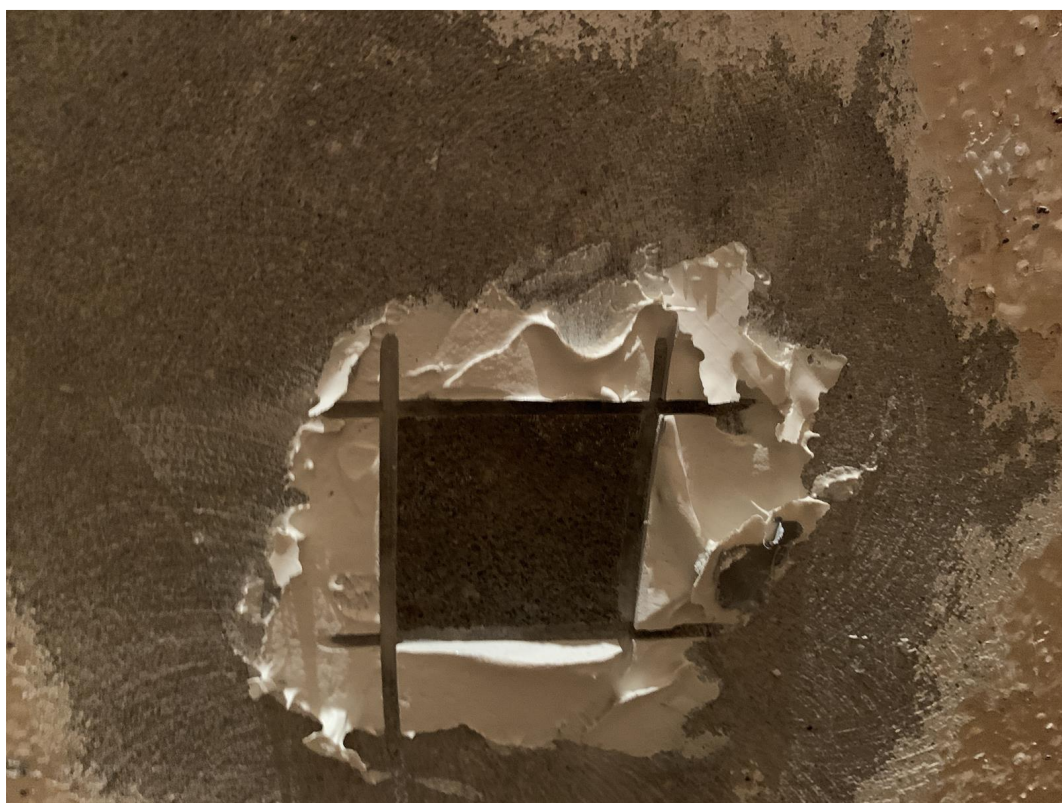
**Description** Pastille numéro 2

Photo 3 sur 5



**Description** Pastille numéro 3

Photo 4 sur 5



**Description**    Pastille numéro 4

Photo 5 sur 5



**Description**



## CHANTIER

Nom	CHATEAU D'EAU UNIVERSITE
Ville	33400 - TALENCE
Client	UNIVERSITE BORDEAUX MONTAIGNE

## bâche au sol numéro 2

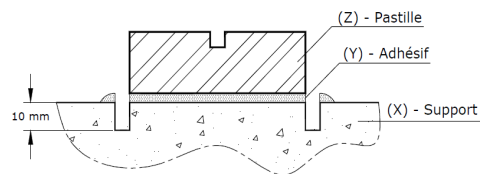
Numéro	2.34660
Conducteur de Travaux	ANS
Activité	CRSTR

## CONTRÔLE

Date	03/07/2019 13:21		
Nature des contrôles	COHESION SUPERFICIELLE DU SUPPORT		
Procédé	ÔSTRAL (CCT 20)		
Zone, Maille			
Nature du support	Béton		
Classement du local	/		
Destination du support	Tous supports		
Type de préparation	Ponçage		
Machine de traction			
N° de série		DL Validité Étalonnage	
Pastilles	Carrée (50 x 50 mm) - surface 25 cm2		

LEGENDE « NATURE DE LA RUPTURE SELON NORME NF 1542 »

XC	Rupture cohésive dans le support
XP	Rupture cohésive en peau de support
T	Rupture adhésive entre le support et la colle
Y	Rupture cohésive dans la colle
Z	Rupture adhésive entre la colle et la pastille



## Mesures

	Type de rupture *	Force de rupture en kN	Force moyenne	Variation $V = \frac{F_i - F_{moy}}{F_{moy}}$	Valeurs des efforts à garder ( V <0,2) en kN **	Force moyenne en kN (ou valeur minimale)	Contrainte moyenne en Mpa $\sigma = F / S$	Valeur requise $\sigma_{admise}$ en MPa	Conformité
1	XC	2,6	5,58	-0,53		2,60	1,04	1,50	NON CONFORME
2	XC	6,1		0,09	6,1				
3	XC	8,2		0,47					
4	XC	5,4		-0,03	5,4				
5									
6									
7									
8									
9									
10									

\* Les valeurs en peau de colle ou dans la colle (Y) sont éliminées

\*\* Pour chaque nature de support (béton, mortier, ragréage) et localisation ou zone (plafond, voile, sol) calculer la moyenne en éliminant les variations supérieures à 20% (au-delà de l'élimination de 40% des valeurs, REFAIRE L'ESSAI OU GARDER LA VALEUR LA PLUS PETITE)

## SIGNATURES

Contrôle ETANDEX		Contrôle EXTERIEUR		
Nom	ANS	Nom		Conformité
Date	03/07/2019 13:21	Date		<input type="checkbox"/> OUI <input checked="" type="checkbox"/> NON
Visa		Visa		

**Description** Pastille numéro 1

Photo 1 sur 4



**Description** Pastille numéro 2

Photo 2 sur 4





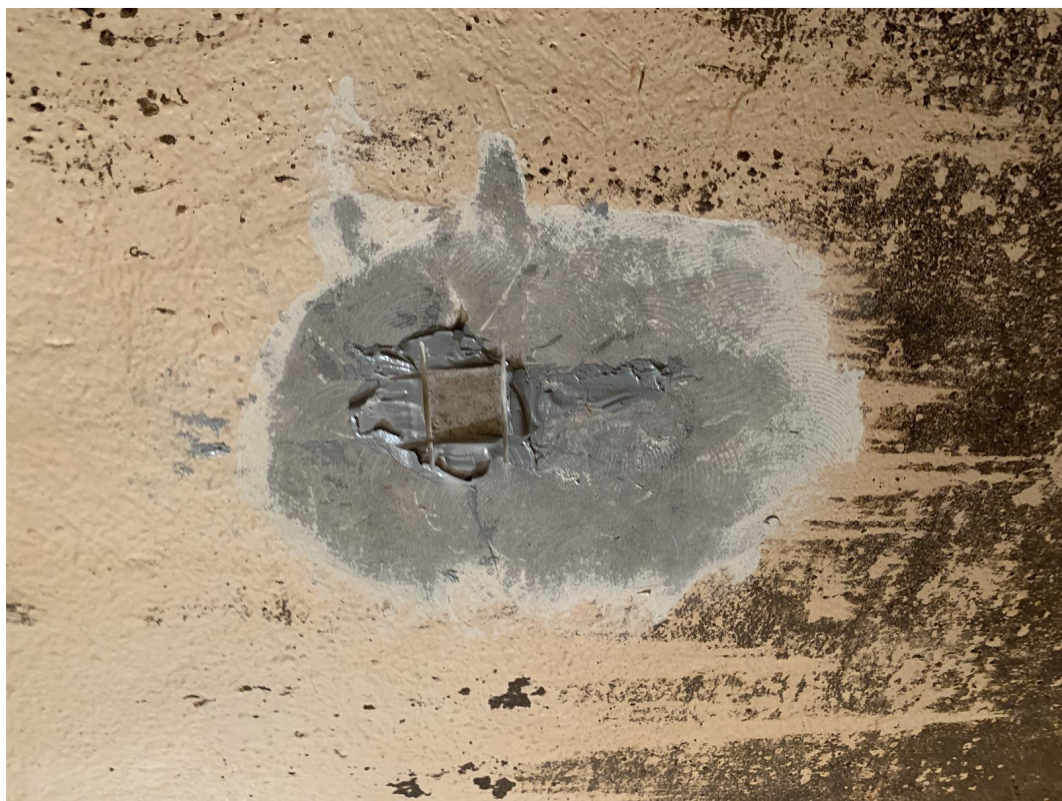
**Description** Pastille numéro 3

Photo 3 sur 4



**Description** Pastille numéro 4

Photo 4 sur 4





## CHANTIER

Nom	CHATEAU D'EAU UNIVERSITE
Ville	33400 - TALENCE
Client	UNIVERSITE BORDEAUX MONTAIGNE

## cuve aérienne

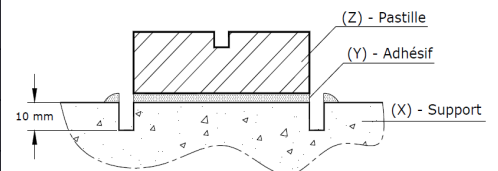
Numéro	2.34660
Conducteur de Travaux	ANS
Activité	CRSTR

## CONTRÔLE

Date	03/07/2019 13:35		
Nature des contrôles	COHESION SUPERFICIELLE DU SUPPORT		
Procédé	ÔSTRAL (CCT 20)		
Zone, Maille			
Nature du support	Béton		
Classement du local	/		
Destination du support	Tous supports		
Type de préparation	Ponçage		
Machine de traction			
N° de série		DL Validité Étalonnage	
Pastilles	Carrée (50 x 50 mm) - surface 25 cm²		

LEGENDE « NATURE DE LA RUPTURE SELON NORME NF 1542 »

XC	Rupture cohésive dans le support
XP	Rupture cohésive en peau de support
T	Rupture adhésive entre le support et la colle
Y	Rupture cohésive dans la colle
Z	Rupture adhésive entre la colle et la pastille



## Mesures

	Type de rupture *	Force de rupture en kN	Force moyenne	Variation $V = \frac{F_i - F_{moy}}{F_{moy}}$	Valeurs des efforts à garder ( V  < 0,2) en kN **	Force moyenne en kN (ou valeur minimale)	Contrainte moyenne en Mpa $\sigma = F / S$	Valeur requise $\sigma_{admise}$ en MPa	Conformité
1	XC	4,3	6,15	-0,30		4,00	1,60	1,50	CONFORME
2	XC	8,3		0,35					
3	XC	7,6		0,24					
4	XC	7,1		0,15	7,1				
5	XC	7,5		0,22					
6	XC	4,2		-0,32					
7	XC	4		-0,35					
8	XC	6,2		0,01	6,2				
9									
10									

\* Les valeurs en peau de colle ou dans la colle (Y) sont éliminées

\*\* Pour chaque nature de support (béton, mortier, ragréage) et localisation ou zone (plafond, voile, sol) calculer la moyenne en éliminant les variations supérieures à 20% (au-delà de l'élimination de 40% des valeurs, REFAIRE L'ESSAI OU GARDER LA VALEUR LA PLUS PETITE)

## SIGNATURES

Contrôle ETANDEX		Contrôle EXTERIEUR		
Nom	ANS	Nom		Conformité
Date	03/07/2019 13:33	Date		<input checked="" type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON
Visa		Visa		

**Description** Pastille numéro 1

Photo 1 sur 8



**Description** Pastille numéro 2

Photo 2 sur 8





**Description** Pastille numéro 3

Photo 3 sur 8



**Description** Pastille numéro 4

Photo 4 sur 8





**Description** Pastille numéro 5

Photo 5 sur 8



**Description** Pastille numéro 6

Photo 6 sur 8





**Description** Pastille numéro 7

Photo 7 sur 8



**Description** Pastille numéro 8

Photo 8 sur 8

