




Ministère de la Défense – ESID de BREST
Secrétariat général pour l'administration (SGA)
Service d'infrastructure de la défense (SID)
Mesdoun - CC16
29240 BREST CEDEX 9

IDENTIFICATION DE L'OUVRAGE	
Désignation : Réservoir des CAPUCINS	
Identification : Numéro G2D : N.C.	
Situation : Plateau des CAPUCINS	

INSPECTION	
Type d'inspection : Inspection Approfondie (IA)+Diagnostic (D)	Date de réalisation : 16 & 17.11.2022

RAPPORT D'INSPECTION		
Référence : ORE3.J0061.0027	Date de rédaction : Le 26.04.2023	Version : Etude / Provisoire / Validée
Synthèse : <p>En l'état, la stabilité de la structure n'est pas remise en cause mais des travaux de réparation, réhabilitation et de régénération des bétons armés doivent être réalisés ainsi que des investigations complémentaires.</p> <p>Le montant des travaux (hors pathologie détectées suite aux investigations complémentaires) est estimé à 300 000€ pour la structure contre un montant d'environ 500 000€ pour la reconstruction du même élément (hors dépose du précédent, désamiantage éventuel et études spécifiques).</p> <p>Une pathologie de type Réaction Gonflement Interne (RGI) est suspectée. Il conviendra de la caractériser (RAG ou RSI) puis de vérifier si son développement est fini ou non.</p>		

<p align="center">BDD Brest-Lorient - Inspections approfondies des bâtiments, des ouvrages de génie civil</p> <p align="center">Réservoirs des CAPUCINS – Plateau des CAPUCINS</p>					
A la demande et pour le compte du :			Ministère de la Défense – USID de BREST A l'attention de M. KERMARREC Secrétariat général pour l'administration (SGA) Service d'infrastructure de la défense (SID) 15 bis, Avenue de l'Ecole Navale 29240 BREST CEDEX 9		
Marché : 2019 BSTSAI 2733 Bon de commande N°25 & 30			Rapport : ORE3.J0061.0027		
Date	Rédigé par	Visa	Vérifié par	Visa	Domaine
26.04.2023	Chargé d'affaire : L.LASSAUZET		Responsable d'Activité : A.DUPUIS		Pathologie
Ce dossier comprend 43 pages de texte et 3 annexes.					
Indice	Date	Modifications			
1	26.04.2023	<ul style="list-style-type: none"> Edition de la version provisoire. 			
2	01.06.2023	<ul style="list-style-type: none"> Edition de la version validée 			

Ce rapport devient la propriété du Client après paiement intégral du prix de la mission, son utilisation étant interdite jusqu'à ce paiement.

A compter du paiement intégral du prix, le Client devient libre d'utiliser le Rapport et de le diffuser, à conditions de respecter et de faire respecter les limites d'utilisation des résultats qui figurent au rapport, et notamment les conditions de validité.

SOMMAIRE

1.	INTRODUCTION.....	4
2.	DOCUMENTS REMIS POUR LA MISSION	4
3.	DONNEES GENERALES	4
3.1	Identification de l'ouvrage	4
3.2	Conditions de la mission	5
3.3	Méthodologie et programme d'investigation	5
3.4	Principales caractéristiques	5
4.	VIE DE L'OUVRAGE.....	6
4.1	Construction de l'ouvrage	6
4.2	Actions de surveillance	6
4.3	Travaux d'entretien et de réparation	6
4.4	Investigations complémentaires	6
5.	CODIFICATION DES DESORDRES.....	7
5.1	Relevé des désordres	7
5.2	Codification des préconisations	8
6.	CONSTATATIONS, INTERPRETATIONS ET PRECONISATIONS	9
6.1	Relevé de désordres et interprétation	9
7.	MISSION DE RECONNAISSANCE DE LA STRUCTURE BETON	14
7.1	Principe de détection des armatures :	14
7.2	Localisation des sondages :	15
7.3	Résultats des sondages	17
7.3.1	Sondages destructifs par burinage.....	17
7.3.2	Prélèvement d'échantillons de béton par carottage.....	21
7.3.3	Enregistrements de Ligne radar – Moyenne des enrobages	25
7.3.4	Essais de mesure de la cohésion/adhérence des matériaux	26
8.	ESSAIS et ANALYSES EN LABORATOIRE	31
8.1	Essais mécaniques de résistance en compression simple sur carotte béton	31
8.2	Analyses physico-chimiques	33
8.3	Examen au microscope à électronique à balayage pour recherche de pathologie.....	33
9.	SYNTHESE	34
9.1	Inspection Approfondie.....	34
9.2	Diagnostic	35
9.3	Essais et Analyse en laboratoire.....	36
9.3.1	Essais mécaniques de résistance en compression simple sur carotte béton	36
9.3.2	Analyse physico-chimique	36
10.	AVIS SUR L'ETAT DE L'OUVRAGE	37
11.	MESURES A PRENDRE	38
12.	INVESTIGATIONS COMPLEMENTAIRES.....	42

ANNEXES

Annexe 1 : Plan d'implantation des sondages et des désordres

Annexe 2 : Planche photographique

Annexe 3 : Rapport d'analyses – BDP6.M.0735

1. INTRODUCTION

Ginger CEBTP – Agence de RENNES a été missionnée pour réaliser une Inspection Approfondie et un Diagnostic sur l'ouvrage référencé n° (numéro non communiqué) – Réservoirs des CAPUCINS, situé sur le Plateau des CAPUCINS de BREST (29), dans le cadre du marché n° 2019 BSTSAI 2733, accepté par Bons de Commande n°25 & 30 datés respectivement du 15 Septembre 2021 et du 05 octobre 2022.

2. DOCUMENTS REMIS POUR LA MISSION

Dans le cadre de la mission, les documents suivant nous ont été transmis :

- Plan d'armature du réservoir daté du 18.02.1947 : Demi-coupe - Armatures,
- Plan d'armature du réservoir daté du 21.01.1947 : Plans du radier et de la coupole – Armatures.

3. DONNEES GENERALES

3.1 Identification de l'ouvrage

Nom d'ouvrage : Réservoirs des CAPUCINS
 Numéro d'identification : N.C.
 Situation : Plateau des CAPUCINS – BREST (29)
 Nature : Réservoir d'Eau non potable à usage industriel



Localisation de l'ouvrage – Source Géoportail

3.2 Conditions de la mission

<u>Dates de la mission :</u>	Le 16.11.2022 & 17.11.2022
<u>Composition de l'équipe de la mission :</u>	Chargé d'affaires : A. LETERRIER – Surveillant Réfèrent métier : L. BOURREAU – Intervenant Chargé d'affaires : L. LASSAUZET – Intervenant
<u>Moyens de la mission :</u>	A pied d'œuvre, utilisant les moyens d'accès existant
<u>Conditions atmosphériques :</u>	Pluvieux
<u>Incidents :</u>	Rien à signaler
<u>Difficultés :</u>	Rien à signaler
<u>Remarques diverses :</u>	Intervention conforme au protocole CATEC

3.3 Méthodologie et programme d'investigation

Le programme d'investigation a compris :

- Une inspection visuelle du réservoir (intérieure et extérieure de l'ouvrage),
- Des sondages destructifs par burinage au sein du réservoir (voiles et coupole),
- Des essais de mesures de la cohésion/adhérence des matériaux au support,
- Des prélèvements de béton par carottage en intérieur sur les voiles du réservoir,
- Une estimation financière au stade « diagnostic » des coûts des travaux éventuels pour pérenniser l'ouvrage sous réserve des résultats des investigations complémentaires.

3.4 Principales caractéristiques

<u>Type de structure :</u>	Bâche au sol
<u>Matériaux :</u>	Structure en béton armé

L'ouvrage construit à la fin des années 1940 présente :

- Epaisseur de la coupole : ≈ 10 cm,
- Epaisseur du voile périphérique :
 - o Partie basse : 26 cm (*dimension issue des plans*),
 - o Partie haute : 8 cm (*dimension issue des plans*),
- Diamètre de la cuve : ≈ 18 m,
- Hauteur maximum : ≈ 7 m (*jusqu'à la sous face de l'édicule*),
- Hauteur du voile périphérique jusqu'à la partie basse de la coupole : $\approx 4,60$ m.

4. VIE DE L'OUVRAGE

4.1 Construction de l'ouvrage

Le bâtiment a été construit à la fin des années 1940 et possède une emprise au sol d'environ 265 m² pour une capacité de stockage de 1 200m³ (pour un trop plein situé à environ 4,60 m de la dalle).

4.2 Actions de surveillance

Date	Surveillance	Commentaires
-	-	-

4.3 Travaux d'entretien et de réparation

Date	Travaux effectués	Entreprise
-	-	-

4.4 Investigations complémentaires

Date	Investigations	Commentaires
-	-	-

5. CODIFICATION DES DESORDRES

5.1 Relevé des désordres

Les désordres relevés ou détectés au cours de l'Inspection Approfondie de l'ouvrage seront codifiés par une lettre, un chiffre et une ou plusieurs lettres : exemple U1 (A).

- La première lettre indique la rubrique de classement du désordre, par exemple :

Indice d'Usage (U)	Pour les désordres pouvant ne plus permettre une exploitation normale et pouvant nuire à la sécurité des personnes
Indice mécanique (M)	Pour les désordres révélateurs d'un défaut de fonctionnement structurel de l'ouvrage

- Le chiffre indique la gravité du désordre constaté :

Valeur	Usage	Mécanique
0	Non évalué	
1	Etat visuel bon	Bon état structurel Bonne stabilité globale
2	Etat visuel correct	Etat structurel correct Stabilité globale maîtrisée
3	Etat visuel dégradé mais sans danger pour les personnes	Etat structurel dégradé Stabilité locale menacée
4	Etat visuel vétuste avec mise en danger des personnes	Etat structurel très dégradé Stabilité menacée

- La deuxième lettre indique la rubrique de classement du désordre, par exemple :

A	Dégradation des revêtements de protection	L	Perforation
B	Vieillessement des matériaux	M	Eclat, épaufrure
C	Rupture, casse	N	Non-conformité normative
D	Déformation	O	Anomalie de géométrie
E	Mouvement, contre-pente	P	Ecrasement
F	Colmatage, obstacle	Q	Regard borgne
G	Corrosion	R	Anomalie de branchement entre canalisations
H	Défaut de mise en œuvre d'origine	S	Liaison canalisation / regard
I	Infiltration, venue d'eau, humidité	T	-
J	Jeu, joint, calfeutrement, déboitement	U	Divers
K	Fissure	V	Végétation

5.2 Codification des préconisations

Les préconisations renseignées dans le tableau de relevé de désordres sont classées en trois familles :

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

6. CONSTATATIONS, INTERPRETATIONS ET PRECONISATIONS

6.1 Relevé de désordres et interprétation

N° du désordre	Localisation	Description du désordre	Origine	Conséquence	Evolution constatée	Préconisation (ABC) et détail	Codification	N° de photo	N° Plan
Intérieur – Radier									
1	Ancien support d'échelle.	Corrosion de l'ancien support d'échelle.	Vieillessement du revêtement de protection, du matériau, exposition à l'eau.	Corrosion importante, dégradation du matériau	S.O.	C : Curatif Retrait de l'élément.	M2 (G)	5442, 5443, 5444.	6.
2	Canalisation, bouche.	Corrosion des éléments de canalisation.	Vieillessement du revêtement de protection, du matériau, exposition à l'eau.	Dégradation de l'élément, propagation de la corrosion.	S.O.	C : Curatif Sablage des éléments, suivant l'état, remplacement de la canalisation ou réfection de la peinture anticorrosion.	U3 (G)	5445, 5446, 5448.	6.
3	Radier.	Présence d'éclat sur l'enduit/mortier du plancher bas.	Vieillessement du matériau, exposition à l'eau.	Défaut d'étanchéité, dégradation de l'élément, propagation des éclats.	S.O.	C : Curatif Décapage et réfection de la couche supérieure.	M3 (B, M)	5442, 5445, 5449, 5450, 5451, 5460, 5461, 5462, 5463, 5464, 5465, 5466, 5467, 5468, 5469, 5470, 5471, 5474, 5475, 5476, 5477.	6.
4	Radier.	Présence de « flaches » et rétention d'eau.	Défaut de la planéité du radier, écoulement non optimal.	Dégradation de la surface, stagnation d'eau, présence de flaque d'eau.	S.O.	C : Curatif Décapage et réfection de la couche supérieur et réfection de la forme de pente.	M3 (B, M)	5448, 5452, 5453, 5454, 5455, 5456, 5457, 5458, 5459, 5467, 5468, 5469, 5470, 5472, 5473.	6.
5	Radier.	Pointe de corrosion sur élément métallique sortant du radier.	Vieillessement du revêtement de protection, du matériau, exposition à un environnement humide.	Propagation de la corrosion, risque d'apparition d'éclats.	S.O.	C : Curatif Retrait des éléments corrodés.	M2 (G)	5447.	6.
6	Radier – Ancienne fixation.	Présence d'une ancienne fixation.	Vieillessement du revêtement, du matériau, exposition à l'eau.	Créé un obstacle à la marche.	S.O.	C : Curatif Retrait de l'élément et réfection du support béton.	M2	5439, 5440, 5441.	6.

N° du désordre	Localisation	Description du désordre	Origine	Conséquence	Evolution constatée	Préconisation (ABC) et détail	Codification	N° de photo	N° Plan
Intérieur – Coupole									
7	Jonction coupole – voile.	Présence de calcite.	Vieillissement du matériau, exposition à un environnement humide, pénétration d'eau dans l'élément.	Dégradation de l'élément, propagation de la calcite, formation de concrétions.	S.O.	C : Curatif Purge de la calcite et du béton éventuellement endommagé, traitement de la venue d'eau et réfection de l'enduit.	M3 (B, I)	5505, 5506.	5.
8	Coupole.	Présence de calcite de façon généralisée.	Vieillissement du matériau, exposition à un environnement humide, pénétration d'eau dans l'élément.	Dégradation de l'élément, propagation de la calcite, formation de concrétions.	S.O.	C : Curatif Purge de la calcite et du béton éventuellement endommagé, traitement de la venue d'eau et réfection de l'enduit.	M3 (B, I)	5480, 5481, 5482, 5483, 5484, 5495, 5497.	5.
9	Coupole.	Présence de planches en bois.	Possible coffrage.	S.O.	S.O.	B : Investigation Complémentaire Définition de l'origine de la planche pour définition des mesures à prendre.	M2	5478.	5.
10	Jonction coupole – voile.	Venu d'eau importante.	Possible fissure traversante avec dégradation de l'étanchéité, vieillissement du matériau et infiltration d'eau.	Dégradation de l'élément béton, développement possible de calcite.	S.O.	B : Investigation Complémentaire Sondage au droit de l'infiltration pour détermination son origine.	M3 (B, I, J)	5485, 5486, 5487, 5488, 5489, 5490, 5491, 5492, 5493.	5.
11	Trémie de la coupole.	Venu d'eau importante provenant certainement de la fissure en haut de coupole.	Fissure en partie haute de l'entrée de coupole avec infiltration, vieillissement du matériau et dégradation de l'étanchéité.	Dégradation des éléments béton armé, possible formation de calcite.	S.O.	C : Curatif Purge de la fissure, colmatage et remise en état des éléments béton armé.	M3 (B, I, K)	5494.	5.
12	Support et fixation de canalisation.	Corrosion importante de la canalisation ainsi que des fixations.	Vieillissement de la peinture de protection, du matériau, exposition à un environnement humide.	Dégradation de la canalisation, propagation de la corrosion, possible ruine et chute de l'élément.	S.O.	C : Curatif Définition du rôle de la canalisation et suivant conclusion : <ul style="list-style-type: none"> Dépose de la canalisation, Changement de l'élément et mise aux normes. 	U3 (B, G)	5500, 5501, 5502, 5503, 5504.	5.
13	Evacuation sur coupole.	Corrosion importante de la canalisation.	Vieillissement de la peinture de protection, du matériau, exposition à un environnement humide.	Dégradation de la canalisation, propagation de la corrosion, possible ruine de l'élément.	S.O.	C : Curatif Définition du rôle de la canalisation et suivant conclusion : <ul style="list-style-type: none"> Dépose de la canalisation, Changement de l'élément et mise aux normes. 	U3 (G)	5479.	5.

N° du désordre	Localisation	Description du désordre	Origine	Conséquence	Evolution constatée	Préconisation (ABC) et détail	Codification	N° de photo	N° Plan
Intérieur – Voiles									
14	Voiles béton armé.	Fissure pontée réouverte.	Mouvement de la structure semblant antérieur (tassement différentiel ou dilatation/retrait).	Défaut d'étanchéité, accélération de la dégradation du support.	S.O.	C : Curatif Purge de la fissure, colmatage et remise en état des éléments béton armé.	M3 (A, b)	5510, 5511, 5512, 5514, 5515, 5516, 5517, 5518, 5519, 5520, 5521, 5523, 5525, 5526, 5528.	7.
15	Voiles béton armé.	Coulure de calcite.	Vieillissement du matériau, exposition à un environnement humide, pénétration d'eau dans l'élément.	Dégradation de l'élément, propagation de la calcite, formation de concrétions.	S.O.	C : Curatif Purge de la calcite et du béton éventuellement endommagé, traitement de la venue d'eau et réfection de l'enduit.	M3 (A, B)	5523.	7.
16	Voiles béton armé.	Ragréage ou réparation dégradée.	Vieillissement du matériau, exposition à un environnement humide, pénétration d'eau dans l'élément.	Dégradation de l'élément, infiltration d'eau possible, étanchéité dégradée.	S.O.	C : Curatif Purge des éléments dégradés et réfection de la zone.	M3 (A, B)	5524, 5525.	7.
17	Voiles béton armé.	Ragréage ou réparation dégradée.	Vieillissement du matériau, exposition à un environnement humide, pénétration d'eau dans l'élément.	Dégradation de l'élément, infiltration d'eau possible, étanchéité dégradée.	S.O.	B : Investigation complémentaire Diagnostic orienté réaction gonflement interne du béton.	M2 (A, B)	5527.	7.
18	Canalisation.	Corrosion importante sur la canalisation.	Vieillissement de la peinture de protection, du matériau, exposition à un environnement humide.	Développement de la corrosion, dégradation de l'élément pouvant aller jusqu'à sa ruine.	S.O.	C : Curatif Sablage des éléments, suivant l'état, remplacement ou réfection de la peinture anticorrosion.	U3 (G)	5513, 5522.	7.

Nota :

- L'échelle à crinoline présente dans le réservoir des CAPUCINS fait état de barreau rond strié. Cette disposition n'est plus conforme.
- **La canalisation de vidange n'est pas présente au point le plus bas du réservoir.**
- Aucune crépine n'est présente sur les différentes canalisations d'évacuation d'eau.

N° du désordre	Localisation	Description du désordre	Origine	Conséquence	Evolution constatée	Préconisation (ABC) et détail	Codification	N° de photo	N° Plan
Extérieur – Coupole									
19	Coupole.	Végétation importante, envahissante.	Manque d'entretien, exposition aux éléments climatiques.	Peut dégrader l'étanchéité de la structure.	S.O.	C : Curatif Dévégétalisation et mise en œuvre d'une étanchéité.	M3 (A, B, V)	6303, 6304, 6305, 6306, 6310, 6311, 6312, 6313, 6314, 6316, 6318, 6319, 6324, 6325.	3.
20	Ancien support de garde-corps.	Corrosion des anciens supports.	Disquage des anciens supports laissé à l'air libre.	Corrosion se propageant au sein du béton et pouvant dégrader la structure et provoquer des infiltrations.	S.O.	C : Curatif Retrait de l'ancienne fixation et réfection du support si impossible, passivation et protection de la partie métallique.	M2 (A, B, G)	6303, 6304, 6305, 6307.	3.
21	Coupole.	Cable électrique sur le sol.	Dépose antérieure de l'installation électrique sans retrait des gaines et câbles.	Peut provoquer la chute du personnel.	S.O.	C : Curatif Retrait des gaines et câbles électriques.	M3 (A, b)	6305, 6306.	3.
22	Coupole béton armé.	Fissure.	Vieillissement du matériau, exposition à un environnement humide.	Défaut d'étanchéité, accélération de la dégradation du support, développement de la végétation au droit de la fissure.	S.O.	C : Curatif Purge de la fissure, colmatage et remise en état des éléments béton armé.	M3 (A, B, K)	6310, 6311.	3.
23	Coupole béton armé.	Eclats béton armé.	Vieillissement du matériau, exposition à un environnement humide, corrosion possible des éléments.	Propagation de l'éclat de béton armé, infiltration d'élément dans le support.	S.O.	C : Curatif Purge de l'éclat, colmatage et remise en état des éléments béton armé.	M3 (A, B, K)	6311, 6323.	3.
24	Coupole béton armé.	Plaques de fermeture corrodée	Vieillissement du matériau, exposition à un environnement humide.	S.O.	S.O.	A : Pas de travaux ou d'investigations complémentaires	U3 (A, B, G)	6321.	3.
25	Coupole béton armé.	Fissure importante sur l'accès de la coupole.	Vieillissement du matériau, exposition à un environnement humide, possible dilatation hétérogène.	Dégradation de la structure, infiltration d'eau importante, propagation de la corrosion.	S.O.	C : Curatif Purge de la fissure, colmatage et remise en état des éléments béton armé.	M3 (A, B, K)	6321, 6322.	3.
26	Fixation de garde-corps.	Corrosion des fixations.	Vieillissement du matériau, exposition à un environnement humide, altération du revêtement de protection.	Dégradation des fixations pouvant fragiliser l'équipement de protection collective.	S.O.	C : Curatif Remplacement des fixations.	U3 (A, B, G)	6326, 6327.	3.

N° du désordre	Localisation	Description du désordre	Origine	Conséquence	Evolution constatée	Préconisation (ABC) et détail	Codification	N° de photo	N° Plan
Extérieur – Voile									
27	Voiles béton armé.	Végétation importante, envahissante.	Manque d'entretien, exposition aux éléments climatiques et manque d'entretien.	Peut dégrader l'étanchéité de la structure ainsi que son support.	S.O.	C : Entretien Dévégétalisation des zones impactées.	M3 (A, B, V)	6331, 6332, 6345, 6346, 6347, 6352, 6361.	4.
28	Voiles béton armé.	Fissures.	Mouvement de la structure semblant antérieur (tassement différentiel ou dilatation/retrait). Peut provenir du vieillissement du béton armé.	Dégradation plus importante du béton, de l'étanchéité et infiltration d'eau pouvant aussi déclencher un phénomène de corrosion des armatures.	S.O.	C : Curatif Purge de la fissure, colmatage et remise en état des éléments béton armé.	M3 (A, B, K)	6331, 6333, 6334, 6335, 6336, 6337, 6340, 6341, 6342, 6343, 6344, 6348, 6349, 6350, 6353, 6354, 6355, 6356, 6357, 6360, 6362, 6365.	4.
29	Voiles béton armé.	Coulure de calcite.	Vieillissement du matériau, exposition à un environnement humide, pénétration d'eau dans l'élément.	Dégradation de l'élément, propagation de la calcite, formation de concrétions.	S.O.	C : Curatif Purge de la calcite remise en état des éléments béton armé.	M3 (A, B, I)	6331, 6333, 6334, 6335, 6336, 6337, 6340, 6341, 6344, 6348, 6349, 6350, 6353, 6354, 6355, 6356, 6357, 6360, 6362, 6365.	4.
30	Voiles béton armé.	Coulures noirâtres, coulure sèche.	Coulure d'eau le long du réservoir béton.	S.O.	S.O.	C : Entretien Nettoyage des zones impactées et mise en place d'un système de goutte d'eau.	M3 (A, B)	6333, 6335, 6336, 6341, 6342, 6355.	4.
31	Voiles béton armé.	Faiénçage.	Possible phénomène de « RGI » (réaction gonflement interne) du béton.	Peut provoquer des infiltrations importantes ainsi que des phénomènes de gonflement et diminution des propriétés mécaniques du béton.	S.O.	B : Investigation complémentaire Diagnostic orienté « RGI » du béton.	M3 (A, B)	6336, 6337, 6338, 6343, 6348, 6350, 6351, 6352.	4.
32	Voiles béton armé.	Présence de graffitis.	S.O.	Défaut esthétique.	S.O.	C : Entretien Nettoyage des graffitis.	M3 (A, B)	6340, 6343, 6344, 6355, 6356, 6357.	4.
33	Canalisation.	Corrosion de la canalisation.	Vieillissement du matériau, exposition à un environnement humide, altération du revêtement de protection.	Peut aller jusqu'à la dégradation voire la perforation de la canalisation.	S.O.	C : Curatif Définition du rôle de la canalisation et suivant conclusion : • Dépose de la canalisation, • Changement de l'élément et mise aux normes.	M2 (A, B, G)	6358, 6359.	4.
34	Coffret Electrique	Coffret ouvert non sécurisé.	Coffret électrique n'étant pas déposé et dégradé lors de l'arrêt de celui-ci.	Aspect esthétique et peut constituer un risque d'accident pour les personnes.	S.O.	C : Curatif Dépose de la totalité du coffret et câble éventuels ou mise en sécurité avec fermeture du coffret.	U3 (U)	6332, 6333.	4.

Nota :

- **L'échelle à crinoline d'accès en coupole du réservoir des CAPUCINS fait état de barreau rond lisse. Cette disposition n'est plus conforme.**
- Aucun dispositif antichute n'est présente au droit de la trémie d'accès au réservoir et en tête de l'échelle à crinoline d'accès à la coupole (nécessité d'un système antichute à barreaudage ainsi que d'un portillon auto rabattable).

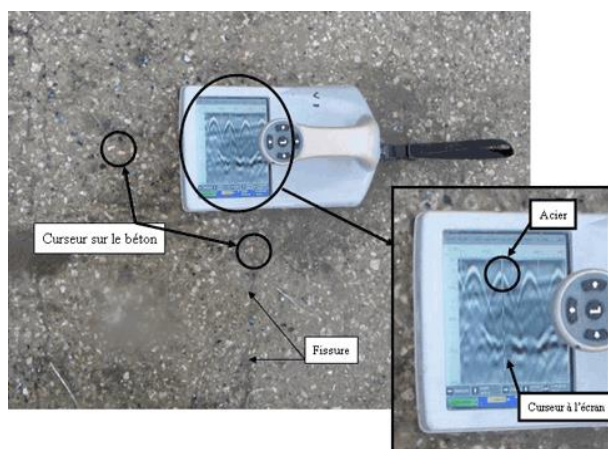
7. MISSION DE RECONNAISSANCE DE LA STRUCTURE BETON

En complément de l'Inspection Approfondie et dans le cadre du Diagnostic des structures béton, nous avons réalisé le programme suivant :

- Essais *in-situ* :
 - Des détections d'armatures par mesures radar pour l'estimation des enrobages et espacements caractéristique des armatures et localisation des sondages,
 - Des sondages destructifs par burinage pour la reconnaissance des armatures,
 - Des prélèvements d'échantillons de béton par carottages pour essais et analyses en laboratoire,
 - Des mesures de profondeur du front de carbonatation de la pâte de ciment des bétons sur les sondages destructifs et carottages réalisés,
 - Des essais de mesure de la cohésion du matériau support.
- Essais en laboratoire :
 - Essai mécanique de résistance en compression simple du béton,
 - Analyse chimique, mesure de masse volumique apparente, porosité accessible à l'eau, estimation du dosage en ciment ainsi que du rapport E/C,
 - Recherche de pathologies internes au béton.

7.1 Principe de détection des armatures :

Détection des enrobages par mesure Radar, présentation de l'appareil.

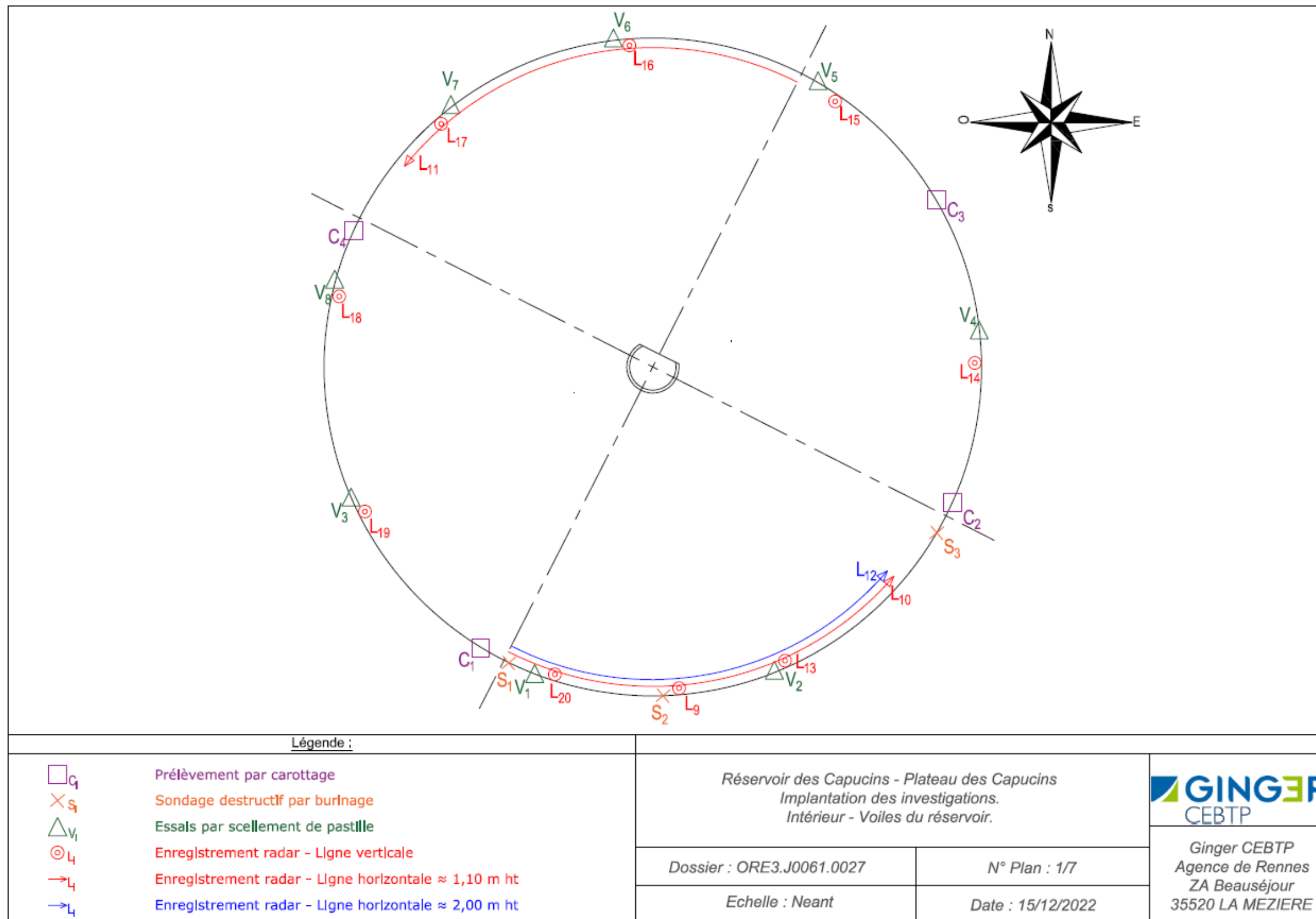


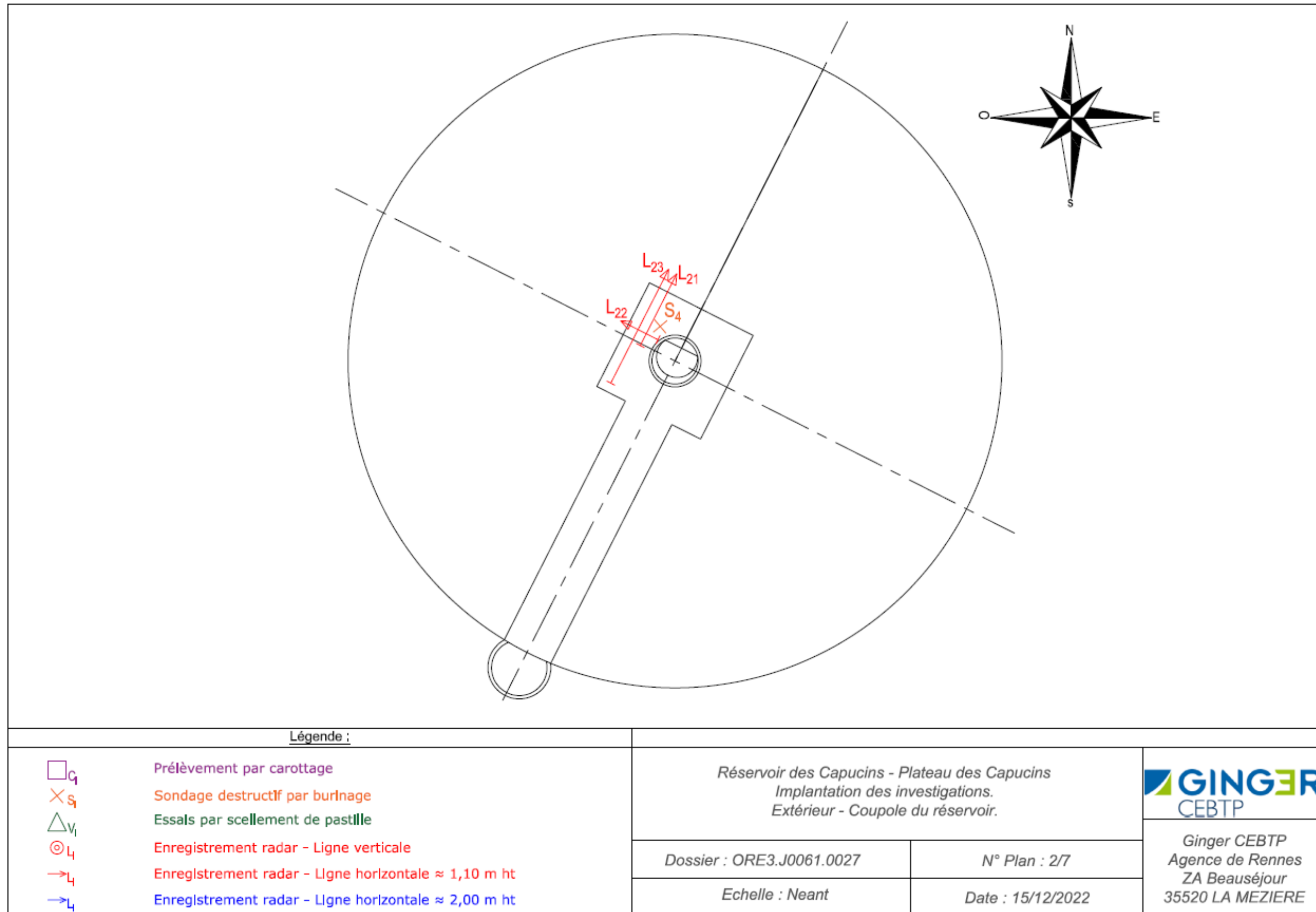
Au fur et à mesure qu'il avance, le radar émet des ondes radar. Ces ondes se propagent dans le matériau jusqu'à ce qu'elles rencontrent un autre matériau possédant une constante diélectrique (paramètre qui traduit la permittivité – grandeur quantifiable caractérisant un matériel peu conducteur ou isolant - aux ondes électromagnétiques) différente.

L'onde est alors plus ou moins réfléchi suivant la différence de constante diélectrique du matériau rencontré.

7.2 Localisation des sondages :

Les investigations ont été réalisées suivant l'implantation suivante :


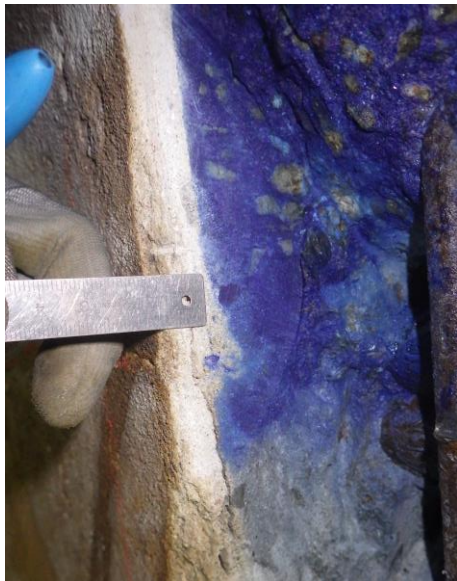






7.3 Résultats des sondages

7.3.1 Sondages destructifs par burinage



- Sondage destructif par burinage S₁ – Sur voile :

<p><u>Photographie n°6242 :</u></p> 	<p><u>Nature et état des armatures :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Armature horizontale basse : <ul style="list-style-type: none"> ○ Rond lisse (RL) Ø : 22 mm ○ Enrobage : 60 mm ○ Diamètre des armatures différent de celui des plans de ferrailage fournis [Ø 25]. • Armature horizontale haute : <ul style="list-style-type: none"> ○ Rond lisse (RL) Ø : 22 mm ○ Enrobage : 60 mm ○ Diamètre des armatures différent de celui des plans de ferrailage fournis [Ø 25]. • Armature verticale : <ul style="list-style-type: none"> ○ Rond lisse (RL) Ø : 12 mm ○ Enrobage : 48 mm <p>Les enrobages sont présentés avec une épaisseur d'enduit d'environ 1 cm.</p> <p>Aucune présence de corrosion sur les armatures découvertes.</p>
<p><u>Photographie n°6248 :</u></p> 	<p><u>Mesure du front de carbonatation de la pâte de ciment des bétons :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Profondeur de carbonatation ≈ 1 cm.


• Sondage destructif par burinage S₂ – Sur voile :

<p><u>Photographie n°6243 :</u></p> 	<p><u>Nature et état des armatures :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Armature horizontale : <ul style="list-style-type: none"> ○ Rond lisse (RL) Ø : 25 mm ○ Enrobage : 44 mm • Armature verticale : <ul style="list-style-type: none"> ○ Rond lisse (RL) Ø : 12 mm ○ Enrobage : 31 mm <p>Les enrobages sont présentés avec une épaisseur d'enduit d'environ 1 cm.</p> <p>Aucune présence de corrosion sur les armatures découvertes.</p>
<p><u>Photographie n°6256 :</u></p> 	<p><u>Mesure du front de carbonatation de la pâte de ciment des bétons :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Profondeur de carbonatation ≈ 1,3 cm.

• Sondage destructif par burinage S₃ – Sur voile :

<p><u>Photographie n°6247 :</u></p> 	<p><u>Nature et état des armatures :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Armature horizontale : <ul style="list-style-type: none"> ○ Rond lisse (RL) Ø : 25 mm ○ Enrobage : 46 mm • Armature verticale : <ul style="list-style-type: none"> ○ Rond lisse (RL) Ø : 12 mm ○ Enrobage : 33 mm <p>Aucune présence de corrosion sur les armatures découvertes.</p>
<p><u>Photographie n°995 :</u></p> 	<p><u>Mesure du front de carbonatation de la pâte de ciment des bétons :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Profondeur de carbonatation ≈ 2 cm.

• Sondage destructif par burinage S₄ – Sur coupole :

<u>Photographie n°2158 :</u>	<u>Nature et état des armatures :</u>
	<ul style="list-style-type: none"> • Armature perpendiculaire à la pente : <ul style="list-style-type: none"> ○ Rond lisse (RL) Ø : 4.5 mm ○ Enrobage : 44 mm (depuis la surface) ○ Diamètre des armatures différent de celui des plans de ferrailage fournis [Ø 6]. • Armature dans le sens de la pente : <ul style="list-style-type: none"> ○ Rond lisse (RL) Ø : 6 mm ○ Enrobage : 31 mm (depuis la surface) <p>Aucune présence de corrosion sur les armatures découvertes.</p>

7.3.2 Prélèvement d'échantillons de béton par carottage

C ₁₋₁	C ₁₋₂
Diamètre 100 mm	Diamètre 100 mm
Hauteur : 130 à 135 mm	Hauteur : 145 mm
	
Mortier de surface : 5 mm	Mortier de surface : 10 à 18 mm
Béton homogène	Béton homogène
Dmax : 20 mm	Dmax : 20 mm
Macroporosité apparente faible	Macroporosité apparente moyenne
Observation : Néant	Observation : Néant

C ₂₋₁	C ₂₋₂
Diamètre 100 mm	Diamètre 100 mm
Hauteur : 145 mm	Hauteur : 153 mm
	
Mortier de surface : 10 mm	Mortier de surface : 2 à 17 mm
Béton homogène	Béton homogène
Dmax : 18 mm	Dmax : 20 mm
Macroporosité apparente moyenne	Macroporosité apparente faible
Observation : Néant	Observation : Néant

C ₃₋₁	C ₃₋₂
Diamètre 100 mm	Diamètre 100 mm
Hauteur : 124 mm	Hauteur : 110 à 120 mm
	
<p>Mortier de surface : 8 à 12 mm</p> <p>Béton homogène</p> <p>Dmax : 20 mm</p> <p>Macroporosité apparente moyenne</p>	<p>Mortier de surface : perte du mortier lors du carottage</p> <p>Béton homogène</p> <p>Dmax : 20 mm</p> <p>Macroporosité apparente faible</p>
Observation : Néant	Observation : Carotte présentant une moitié basse sans granulats. Possible prélèvement à l'endroit d'une reprise de bétonnage

C ₄
Diamètre 100 mm
Hauteur : 143 mm

<p>Mortier de surface : 8 à 17 mm</p> <p>Béton homogène</p> <p>Dmax : 20 mm</p> <p>Macroporosité apparente moyenne</p>
Observation : Néant

7.3.3 Enregistrements de Ligne radar – Moyenne des enrobages

A l'aide d'un appareil de type radar structure nous avons pu repérer les armatures et obtenir les données suivantes :

- Pour le voile :

Armatures voile du réservoir

Caractéristiques/Orientation	Horizontales	Verticales
Type	RL	RL
Diamètre (mm)	22	12
Nombre détecté	35	232
Enrobage		
Minimum	44	12
Maximum	112	194
Moyenne	73	71
Ecart-type	16	41
Espacement		
Minimum	14.9	4.1
Maximum	30.2	19.5
Moyenne	25.6	8.8
Ecart-type	3	3.1

- Pour la coupole

Armatures dalle du réservoir

Caractéristiques/Orientation	Sens Nord-Est	Sens Nord-Ouest
Type	RL	RL
Diamètre (mm)	4.5	6
Nombre détecté	28	12
Enrobage		
Minimum	40	43
Maximum	80	71
Moyenne	57	57
Ecart-type	9	8
Espacement		
Minimum	73.7	45
Maximum	192.5	162.5
Moyenne	108.3	104.1
Ecart-type	24.2	35.3

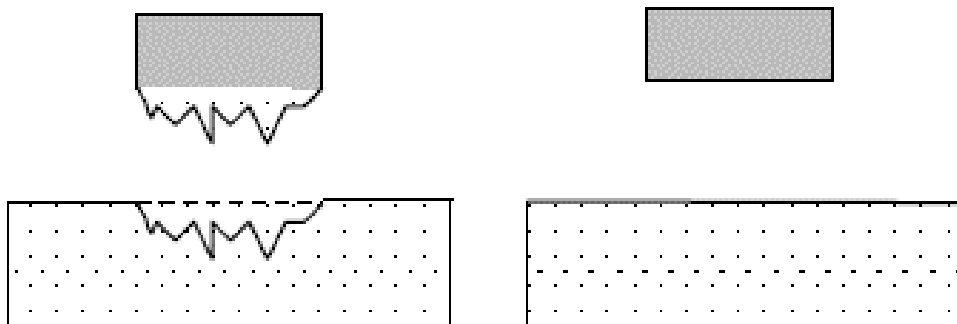
7.3.4 Essais de mesure de la cohésion/adhérence des matériaux

Le mode opératoire est le suivant :

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

On distingue deux types de rupture :

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



- **Pastillage 1 :**

Photographie n°6259 :



Photographie n°6260 :



Commentaire :

Mode de rupture : 90 % cohésif mortier – 10 % adhésif pastille/colle

Force à la rupture : 0 kN – 0 MPa

- **Pastillage 2 :**

Photographie n°6263 :



Photographie n°6264 :





Commentaire :



Mode de rupture : 100 % cohésif mortier

Force à la rupture : 0 kN – 0 MPa



- Pastillage 3 :

<p><u>Photographie n°6282 :</u></p> 	<p><u>Photographie n°6283 :</u></p> 
<p><u>Commentaire :</u></p> <p>Mode de rupture : 100 % adhésif colle/mortier</p> <p>Force à la rupture : 0 kN – 0 MPa</p>	



- Pastillage 4 :

<p><u>Photographie n°6266 :</u></p> 	<p><u>Photographie n°6267 :</u></p> 
<p><u>Commentaire :</u></p> <p>Mode de rupture : 100 % cohésif mortier</p> <p>Force à la rupture : 0,15 kN – 0,6 MPa</p>	

- **Pastillage 5 :**

<p align="center"><u>Photographie n°6269 :</u></p> 	<p align="center"><u>Photographie n°6270 :</u></p> 
<p align="center"><u>Commentaire :</u></p> <p>Mode de rupture : 10 % cohésif mortier – 70 % adhésif mortier/colle – 20 % adhésif pastille/colle</p> <p align="center">Force à la rupture : 0 kN – 0 MPa</p>	

- **Pastillage 6 :**

<p align="center"><u>Photographie n°6272 :</u></p> 	<p align="center"><u>Photographie n°6273 :</u></p> 
<p align="center"><u>Commentaire :</u></p> <p>Mode de rupture : 100 % cohésif mortier</p> <p align="center">Force à la rupture : 0 kN – 0 MPa</p>	

- **Pastillage 7 :**

Photographie n°6276 :



Photographie n°6277 :



Commentaire :

Mode de rupture : 100 % cohésif mortier (essai sur pontage)

Force à la rupture : 0 kN – 0 MPa

- **Pastillage 8 :**

Photographie n°6279 :



Photographie n°6280 :



Commentaire :

Mode de rupture : 100 % cohésif mortier

Force à la rupture : 0 kN – 0 MPa

8. ESSAIS ET ANALYSES EN LABORATOIRE

8.1 Essais mécaniques de résistance en compression simple sur carotte béton

Les essais de compression sont réalisés suivant la procédure d'essai d'écrite dans la norme EN 12390-3. Après tronçonnage, séchage et surfacage des bases à l'aide d'un produit soufre/sable, les carottes ont fait l'objet d'un essai de résistance en compression à l'aide d'une presse à béton SEIDNER de capacité 300 kN.

Les essais ont été réalisés le 21 Décembre 2022.

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

Échantillon carottage	Hauteur (mm)	Diamètre (mm)	Élancement	Effort (kN)	Contrainte de rupture brute (MPa)	Contrainte de rupture corrigée (MPa)
C _{1-2G}	106	100	1.06	244.49	31.1	28.0
C _{2-2G}	116	100	1.16	283.51	36.1	33.2
C _{3-1G}	95	100	0.95	351.5	44.8	38.9
C ₄	110	100	1.10	290.6	37.0	33.6
C _{1-1D}	102	99	1.03	183.5	23.8	32.9
C _{3-2D}	91	99	0.91	282.2	36.7	20.8

Au vu des différentes valeurs et suivant la norme NF EN 13791/CN d'Octobre 2021, la résistance caractéristique en compression simple (f_{ck}) du béton testé ne peut être déterminée.

En effet, le béton testé présente des résultats hétérogènes ne permettant pas la détermination de la résistance caractéristique en compression de celui-ci (dispersion des résultats > 15%).

Afin d'éviter une dispersion trop importante des résultats et pouvoir obtenir une valeur informative sur la valeur caractéristique de résistance à la compression simple, seuls les résultats des carottes C_{2-2G}, C₄ et C_{3-2D} ont été conservés.

Échantillon carottage	Hauteur (mm)	Diamètre (mm)	Élancement	Effort (kN)	Contrainte de rupture (MPa)
C _{2-2G}	116	100	1.16	283.51	36.1
C ₄	110	100	1.10	290.6	37.0
C _{3-2D}	91	99	0.91	282.2	36.7
La valeur $f_{ck, is}$ à retenir est de :					32
La valeur f_{ck} à retenir est de :					38

Avec la conservation de certains résultats, nous obtenons une valeur de f_{ck} de 38 MPa, **cette résistance est donnée à titre informatif et ne peut en aucun cas être utilisée dans le cadre d'études d'ingénierie.**

8.2 Analyses physico-chimiques

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

Béton C ₃₋₂	
Dosage en ciment (kg/m ³) * ± 10%	390
Porosité accessible à l'eau à cœur (% volumes de vides)	18,4
Masse volumique apparente (kg/m ³)	2 140
Rapport E/C	0,55 – 0,65
Taux d'hydratation (%) **	88

Tableau de synthèse des analyses physico-chimiques

* : Ces estimations ont été faites à partir de l'hypothèse de l'utilisation d'un ciment CEM I titrant 21 % de silice soluble et de charges siliceuses et calcaires. Dans le cas d'un ciment de type CEM II au filler calcaire, il faudrait alors pondérer ce résultat par la teneur en filler calcaire dans le ciment.

** : Ces taux d'hydratation ont été déterminés en considérant que l'hydratation maximale des ciments est de 25 %. Le béton ne présente pas de défaut d'hydratation.

8.3 Examen au microscope à électronique à balayage pour recherche de pathologie

Le béton présente un liant très altéré par la lixiviation en surface et sur une grande profondeur en fracture à proximité de la surface. A cœur, le liant est très hétérogène. Il présente d'importantes cavités et porosités dans lesquelles se trouvent des hydrates massifs. Il est à noter la présence de clinker résiduel qui peut indiquer un déficit d'hydratation.

A travers cette synthèse nous pouvons noter plusieurs points :

- La surface de béton présente une pathologie de lixiviation de la pâte cimentaire,
- Le béton présente une porosité jugée importante.

9. SYNTHESE

9.1 Inspection Approfondie

Les principales dégradations observées sur le réservoir des Capucins sont les suivantes :

Extérieur :

- Présence de végétation sur la coupole ainsi qu'au pourtour,
- Présence de gaine/câble électrique sur le sol,
- **Présence de fissures sur le tour de la trémie d'accès ainsi que sur le dessus de la coupole avec éclats de béton,**
- **Présence d'infiltrations importante depuis la coupole,**
- Corrosion des fixations des protections collectives (gardes corps),
- **Présence de fissures avec coulures de calcites sur le voile extérieur,**
- **Corrosion des canalisations avec dégradation importante pouvant nuire à son fonctionnement,**
- **Présence de faïençage localisé sur le voile,**
- Echelle à crinoline avec barreau rond et strié non conforme à la nouvelle réglementation de 2019 (nécessité de barreaux carrés striés),
- Absence d'un système antichute à barreaudage au-dessus de la trémie d'accès à l'ouvrage,
- Absence d'un système antichute à portillon auto-rabattable en tête de l'échelle à crinoline,
- **Garde-corps non conforme à la norme NF E 85-015 de Juillet 2019 (absence de plinthe en partie basse, main courante etc..).**

Intérieur :

- **Corrosion importante des canalisations avec dégradation importante pouvant nuire à son fonctionnement,**
- Eclat de la couche d'enduit sur le radier pouvant provoquer une pénétration de l'eau,
- Eclat de la couche d'enduit sur les parois verticales,
- Présence généralisée de calcite de façon généralisé en sous face de la coupole,
- Echelle à crinoline avec barreau rond et strié non conforme à la nouvelle réglementation de 2019 (nécessité de barreaux carré strié),
- **Présence d'une infiltration importante à la jonction voile-coupole et sur la trémie d'accès,**
- Présence de fissures pontées avec dégradation du ragréage sur le voile du réservoir.

9.2 Diagnostic

Suite aux sondages destructifs nous pouvons observer que :

- Les armatures sont visuellement saines,
- Le front de carbonatation de la pâte de ciment du béton n'a pas atteint les armatures et a une profondeur moyenne de 1,4 cm (avec un minimum de 1 cm et un maximum de 2 cm),
- Aux droits des essais d'adhérence l'enduit présent sur les face intérieures des voiles n'est plus adhérent au matériau support.

9.3 Essais et Analyse en laboratoire

9.3.1 Essais mécaniques de résistance en compression simple sur carotte béton

La dispersion est trop importante pour interpréter les résultats et obtenir une valeur f_{ck} .

A titre informatif, avec conservation de certaines valeurs, on peut estimer un f_{ck} de 38 MPa.

9.3.2 Analyse physico-chimique

Béton C ₃₋₂	
Dosage en ciment (kg/m ³) * $\pm 10\%$	390
Porosité accessible à l'eau à cœur (% volumes de vides)	18,4
Masse volumique apparente (kg/m ³)	2 140
Rapport E/C	0,55 – 0,65
Taux d'hydratation (%) **	88

- Le dosage en ciment est supérieur au dosage en ciment recommandé par l'ensemble des classes d'exposition dans la norme NF EN 206+A2/CN de Novembre 2022 (360 kg/M³ minimum),
- La porosité accessible à l'eau du béton obtenue est de 18,4 %. Cette porosité est jugée élevée. La durabilité potentielle du béton associée à cette valeur est jugée : faible.
- Le béton des voiles de réservoir testé ne présente pas de défaut d'hydratation,
- Le rapport E/C du béton est compris entre 0,55 et 0,65. Il répond à un béton de classe d'environnement XC1. Il conviendra de vérifier la classe d'exposition du béton dans les documents d'ouvrage.
- La surface de béton présente une pathologie d'élimination progressive du liant (lixiviation de la phase cimentaire).

10. AVIS SUR L'ETAT DE L'OUVRAGE

Le relevé de désordres effectué lors de l'Inspection Approfondie et Diagnostic permet de statuer sur l'état de l'ouvrage.

Aucun désordre pouvant mettre en cause une instabilité des fondations n'a été relevé. En l'état, la stabilité de l'ouvrage n'est pas remise en question néanmoins, plusieurs points devront faire l'objet de travaux de réparations / réhabilitation / régénération du béton armé afin de pouvoir pérenniser la structure de l'ouvrage dans les années futures :

- **Présence de fissures sur le pourtour de la trémie d'accès avec éclats de béton,**
- **Présence d'infiltration importante depuis la coupole,**
- **Présence de zones de faïençage pouvant être dues à une « RGI » (investigations complémentaires préconisé pour caractériser cette pathologie),**
- **Présence de fissures avec coulures de calcites sur le voile extérieure,**
- **Corrosion importante des canalisations avec dégradation importante pouvant nuire à son fonctionnement.**

Il conviendra :

- **De purger le béton (revêtement d'étanchéité compris) sur quelques centimètres et sur la totalité du réservoir, passiver et réparer des armatures présentent si corrodées,**
- **De réaliser un ragréage/réfection de l'enrobage suivant la NF EN 1504 : Protection et réparation des structures en béton,**
- **De mettre en place un système d'étanchéité sur les parements intérieurs suivant les besoins d'exploitation et pour assurer la pérennité des réparations et de l'ouvrage,**
- **De mettre en place un système d'imperméabilisation sur les parements extérieurs suivant les besoins d'exploitation et pour assurer la pérennité des réparations et de l'ouvrage,**
- **De dévégétaliser le réservoir (coupole et voile extérieure),**
- **De caractériser l'éventuelle pathologie de Réaction Gonflement Interne,**
- **De vérifier si cette réaction est aboutie ou si une amplitude d'évolution est encore possible dans un second temps.**

Nota :

Il conviendra de réaliser un diagnostic complémentaire orienté « RGI » sur le voile en béton armé (Réaction Gonflement Interne du béton).

*Le réservoir peut être remis en eau dans l'attente des résultats de l'étude. Toutefois, afin d'éviter toutes pertes d'eau ainsi qu'une l'évolution possible des désordres, il sera **remis en eau de façon progressive tout en s'assurant que le niveau d'eau n'excède pas la tête du voile circulaire** (interface voile/coupole) par une réduction de la hauteur de la canalisation de trop-plein par exemple et sous réserve que la réhabilitation complète de l'ouvrage soit réalisée à court termes (3 à 4 ans).*

11. MESURES A PRENDRE

La durée de vie prévisionnelle des matériaux utilisés lors des travaux de réparations / réhabilitation / régénération est de l'ordre de 10 à 15 ans.

La réalisation des actions de maintenance et d'entretien de l'ouvrage permettra de prolonger cette durée de vie prévisionnelle.

Pour rappel, la durabilité des réparations et des renforcements structuraux dépendra en grande partie des techniques et des méthodes employées. L'entreprise travaux qui sera sélectionnée pour réaliser ce chantier devra indiquer au préalable la durée de vie prévisionnelle des travaux de réparation et de renforcement structurel qu'elle réalisera.

La série de normes NF EN 1504-1 à NF EN 1504-10 « Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton - Définitions, exigences, prescriptions, maîtrise de la qualité et évaluation de la conformité » définit 11 grands principes de traitement qui visent à augmenter la durabilité du béton et à pérenniser les structures en béton armé.

- **Traitement des éléments en béton armé (extérieur et intérieur) :**

Dans les paragraphes suivants, la mention « traitement adaptés et conformes des désordres » fait référence au mode opératoire généralement adopté pour le traitement des surfaces visuellement dégradée suivant :

- L'inspection des zones visuellement non adhérentes ainsi que dégradée et/ou sonnante creux,
- Le repérage et le marquage de l'ensemble des zones présentant des coulures de produit d'oxydation,
- Le marquage et repérage des anciennes réparations,
- La purge des zones précédemment identifiées par piquage manuel ou par hydrodémolition suivant la zone,
- La traitement adapté et conforme des armatures passives rencontrées :
 - Les armatures passives corrodées rencontrées seront dégagées par repiquage jusqu'à atteindre les zones non corrodées (extension du piquage sur 15 cm de part et d'autre de l'acier corrodé) ;

- Après dégagement sur toute la périphérie pour permettre un traitement complet (a minima profondeur de 1 à 2 cm à l'arrière de l'armature), les armatures seront nettoyées par sablage et/ou par brossage jusqu'à obtenir un acier sain (dégagement de la rouille et de la calamine) ;
- Tous les résidus de rouille et de calamine devront être nettoyés et intégralement retirés des zones piquées (aspiration, soufflage, rinçage... ;
- Les armatures corrodées rencontrées ayant perdu plus de 10 % de leur diamètre initial, devront être remplacées en tenant compte des longueurs d'ancrage, des longueurs de recouvrement et selon la règle des coutures.
- Le ragréage pourra se faire par béton projeté et/ou ragréage manuel (mortier de ragréage) en fonction des surfaces et des épaisseurs à reconstruire.

Pour les fissures, la quasi-totalité en intérieur étant pontées, il conviendra de préparer le support, et calfeutrer les fissures à l'aide d'une résine ou mortier adapté. La technique de traitement de fissures actives ou non par calfeutrement consiste à colmater en profondeur les fissures par un produit plus ou moins souple (mastic ou mortier) pour rétablir une étanchéité à l'air ou à l'eau ou pour empêcher la pénétration de matières solides qui risqueraient de bloquer le mouvement des fissures. Il s'applique donc aux fissures qui ne mettent pas en jeu la résistance de la structure.

Pour les quelques fissures en extérieur faisant plus de 0,3 mm d'ouverture, elles seront traitées et injectées au coulis de ciment (l'usage de résine pourra également être envisagé). Les matériaux utilisés devront être compatibles avec les potentiels revêtements de protection utilisés.

- **Etanchéité des éléments béton armé en intérieur :**

L'étanchéité des éléments en intérieur sera soumise à validation du complexe en accord avec les besoins de la qualité de l'eau en sortie de réservoir. Le revêtement d'étanchéité actuel dans le réservoir de l'ouvrage est très dégradé et n'assure plus son rôle d'étanchéité. Il doit être remplacé.

Compte-tenu du fait que le matériau support du revêtement actuel n'est plus adhérent au béton support, nous préconisons sa purge généralisée. Puis la mise en œuvre d'un revêtement d'étanchéité adhérent par résines époxydiques, disposant d'une ACS (si nécessaire), sur tous les parements intérieurs du réservoir ou solution équivalente.

Si les traversées des canalisations doivent être remplacées la mise en œuvre d'un revêtement d'étanchéité par membrane synthétique non adhérente type FPO ou équivalent, disposant d'une ACS, pourra être envisagée.

D'une façon générale, il conviendra de réaliser :

- La dépose / purge du revêtement actuel,
- Les traitements adaptés et conformes des désordres,
- Le traitement adapté des zones de faïençage,
- Le rechargement/ressurfaçage des éléments béton (pouvant être projeté),
- L'application d'un inhibiteur de corrosion en quatre couches avec rinçage du produit et vérification de la migration du produit par le contrôle de plots d'essais (peut aussi être vérifié par analyse laboratoire grâce à un prélèvement par carottage),
- La mise en œuvre d'un revêtement d'étanchéité adhérent par résines époxydiques sur toutes les surfaces en eau.

Nota : afin de limiter les effets de piles induites entre les zones réparées et les zones non réparées, des anodes sacrificielles pourront être mises en œuvre en périphérie des zones réparées conséquentes.

- **Imperméabilisation des éléments béton armé en extérieur :**

A l'heure actuelle, aucune imperméabilisation n'est présente sur les faces extérieures des éléments béton. Cette disposition permettrait de pérenniser l'ouvrage dans la durée.

D'une façon générale, il conviendra de réaliser :

- La purge du béton et ressurfaçage,
- Les traitements adaptés et conformes des désordres,
- Le traitement adapté des zones de faïençage,
- La mise en œuvre d'un revêtement d'imperméabilisation sur toutes les surfaces béton,
- La mise en place d'un revêtement anti capillarité avec mise en place de drain sur le pourtour du réservoir.

Désordres nécessitant des travaux curatifs ou d'entretien (C)					
N° de désordres	Partie d'ouvrage	Description du désordre	Descriptif	Estimation [k€]	Délai
1 -> 18.	Intérieur Voiles, Radier et Coupole.	Dégradation générale du béton avec fissures, calcite et présente d'infiltration/humidité.	<ul style="list-style-type: none"> Lavage et resurfaçage des éléments béton sur 4 mm, Traitement et pontage des fissures, Inhibiteur de corrosion en 4 couches et rinçage, Revêtement d'étanchéité sur la totalité des éléments béton, 	45€/m ² 130€/ml 50€/m ² 90€/m ²	Moyen terme 2 à 5 ans
19 -> 34.	Extérieur Voiles et Coupole.	Dégradation générale du béton avec fissures, calcite et présente d'infiltration/humidité.	<ul style="list-style-type: none"> Lavage et resurfaçage des éléments béton sur 4 mm, Traitement et pontage des fissures, Inhibiteur de corrosion en 4 couches et rinçage, Revêtement d'étanchéité sur la totalité des éléments béton, 	45€/m ² 130€/ml 50€/m ² 90€/m ²	Moyen terme 2 à 5 ans

Les mesures de réparation de l'ouvrage à réaliser sur le gros œuvre est estimé à hauteur de :

- 200 000€ pour la partie intérieure,
- 100 000€ pour la partie extérieure,
- Soit un total d'environ 300 000€.

A cela il conviendra de rajouter le montant :

- des changements de canalisation si celle-ci s'avère indispensable pour le fonctionnement du réservoir,
- de la dévégétalisations correcte de la zone,
- de la mise au normes des équipements de protection collective,
- d'une éventuelle maîtrise d'œuvre sur le projet ainsi que les contrôles découlant de la réalisation des travaux.

A titre d'information, pour la construction d'un réservoir, il convient de prendre en compte le ratio de 500 000€ pour une capacité de 1000m³ (hors dépose du précédent ouvrage et désamiantage).

Ce chiffrage ne prend pas en compte les éventuelles pathologies qui pourraient être observée suite aux investigations complémentaires.

Un phasage de travaux de réparation / réhabilitation / régénération du béton armé est envisageable afin d'étaler le budget de réhabilitation de l'ouvrage. Dans ce cas les travaux doivent être hiérarchisés de la façon suivante :

- Travaux sur l'extrados de la coupole de couverture,
- Travaux en intérieur de l'ouvrage,
- Travaux en extérieur de l'ouvrage.

Ce phasage a un coût plus important qu'une réalisation en une fois, et nécessite plusieurs vidanges de l'ouvrage.

Le coût énoncé précédemment ne tient pas en compte des travaux par phasage.

12. INVESTIGATIONS COMPLEMENTAIRES

Il conviendra de réaliser un diagnostic complémentaire orienté « RGI » sur le voile en béton armé (Réaction Gonflement Interne du béton).

La méthodologie proposée est en adéquation avec le **Guide Technique LCPC « Aide à la gestion des ouvrages atteints de réactions de gonflement interne »**.

Nota :

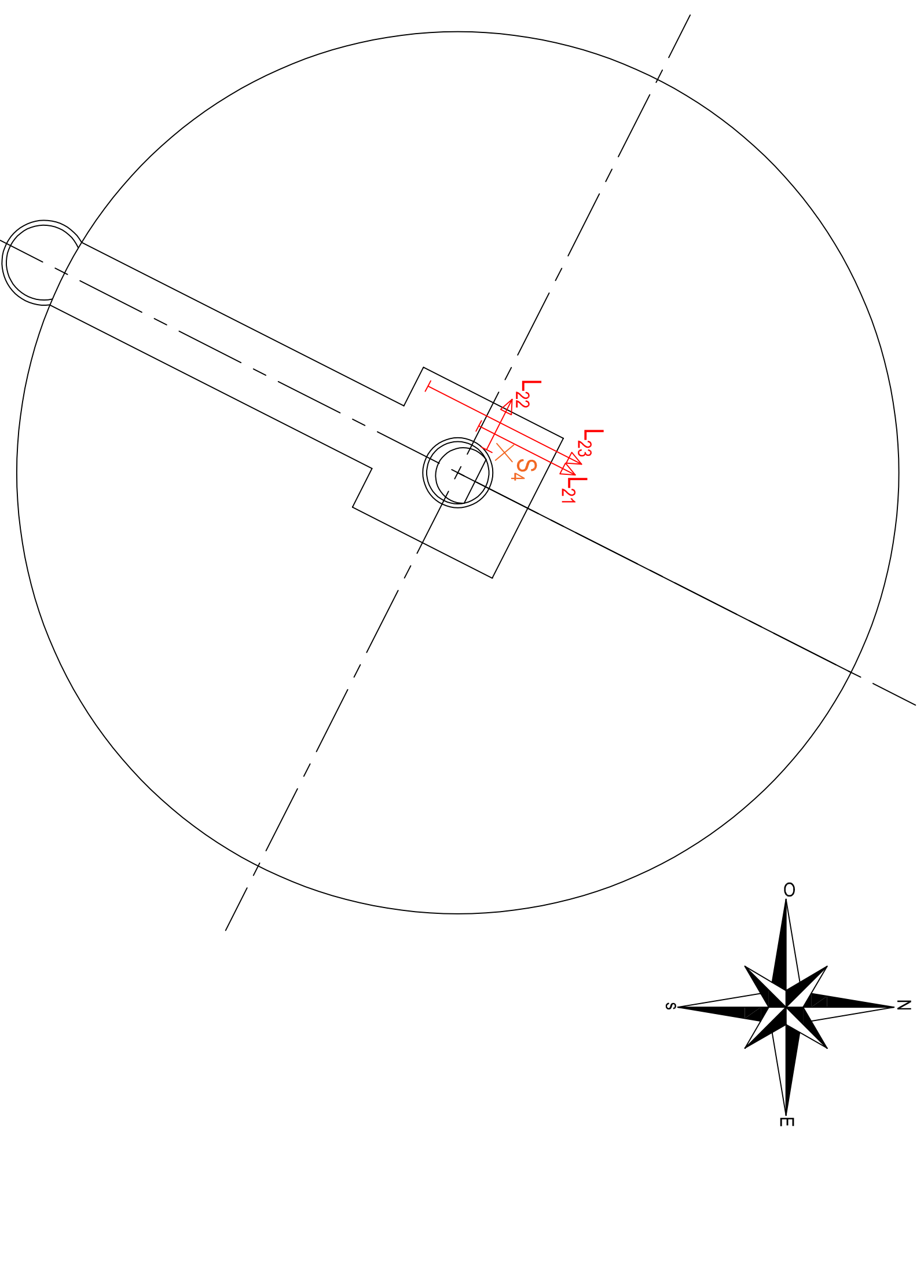
Lors de la réalisation des investigations complémentaires le réservoir devra être vidangé pour les opérations de carottages.

La première phase d'investigations complémentaires consiste en la caractérisation du phénomène et peut statuer sur l'évolution instantanée de la pathologie.







Toutefois, suivant les résultats obtenus (en cas de fissuration non stabilisée), une seconde phase d'investigations pourrait être nécessaire pour évaluer le potentiel de gonflement résiduel du béton.


ANNEXE 1

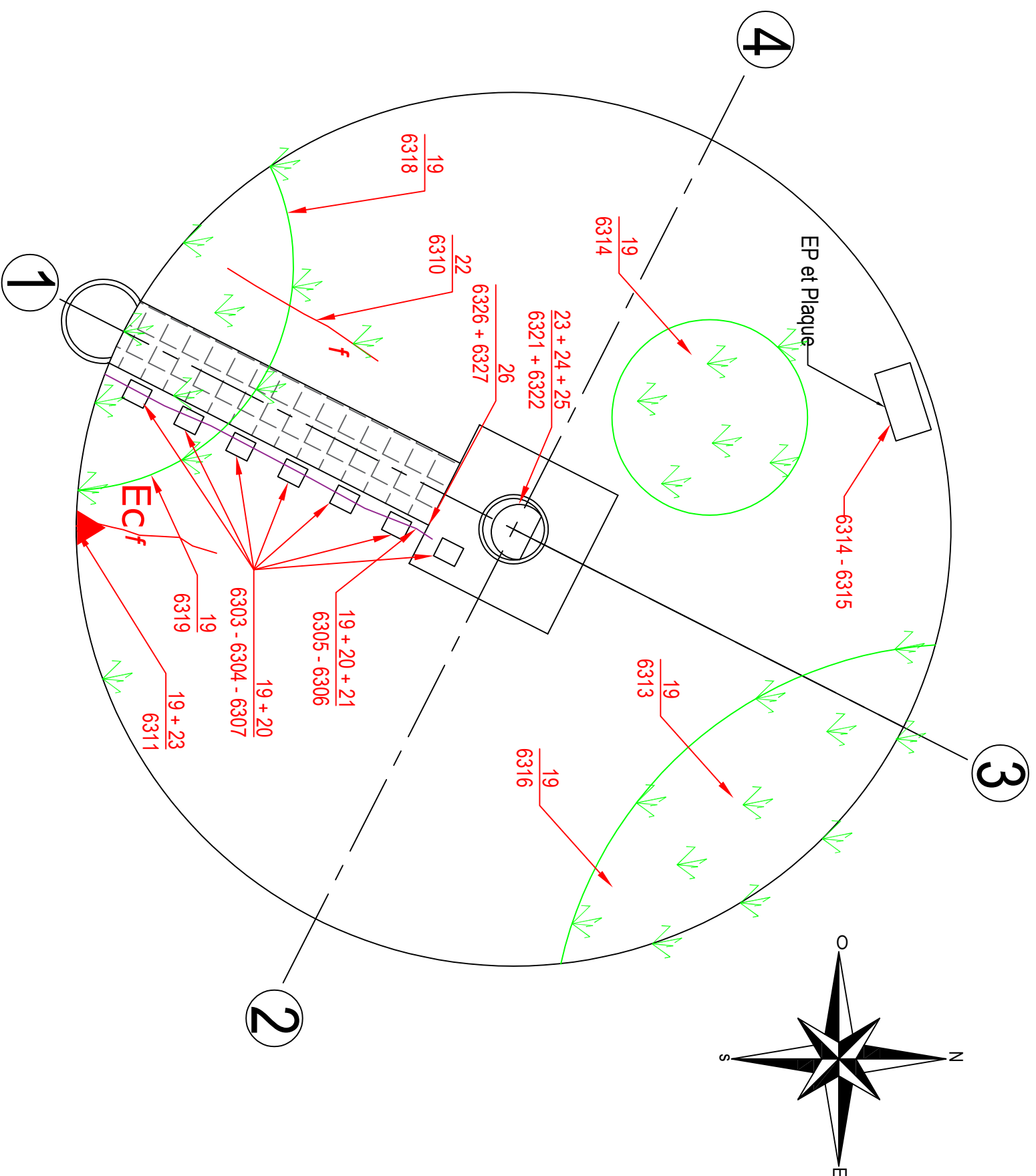
PLAN D'IMPLANTATION DES SONDAGES ET DES DESORDRES
























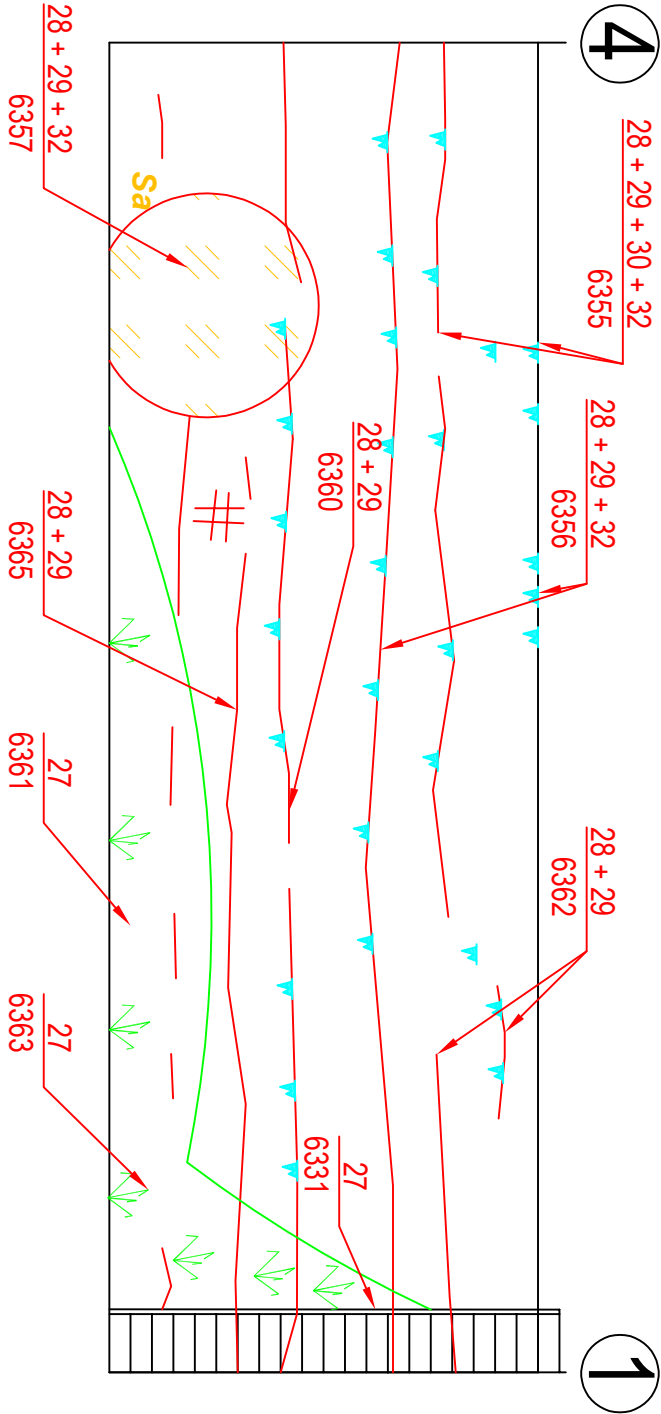
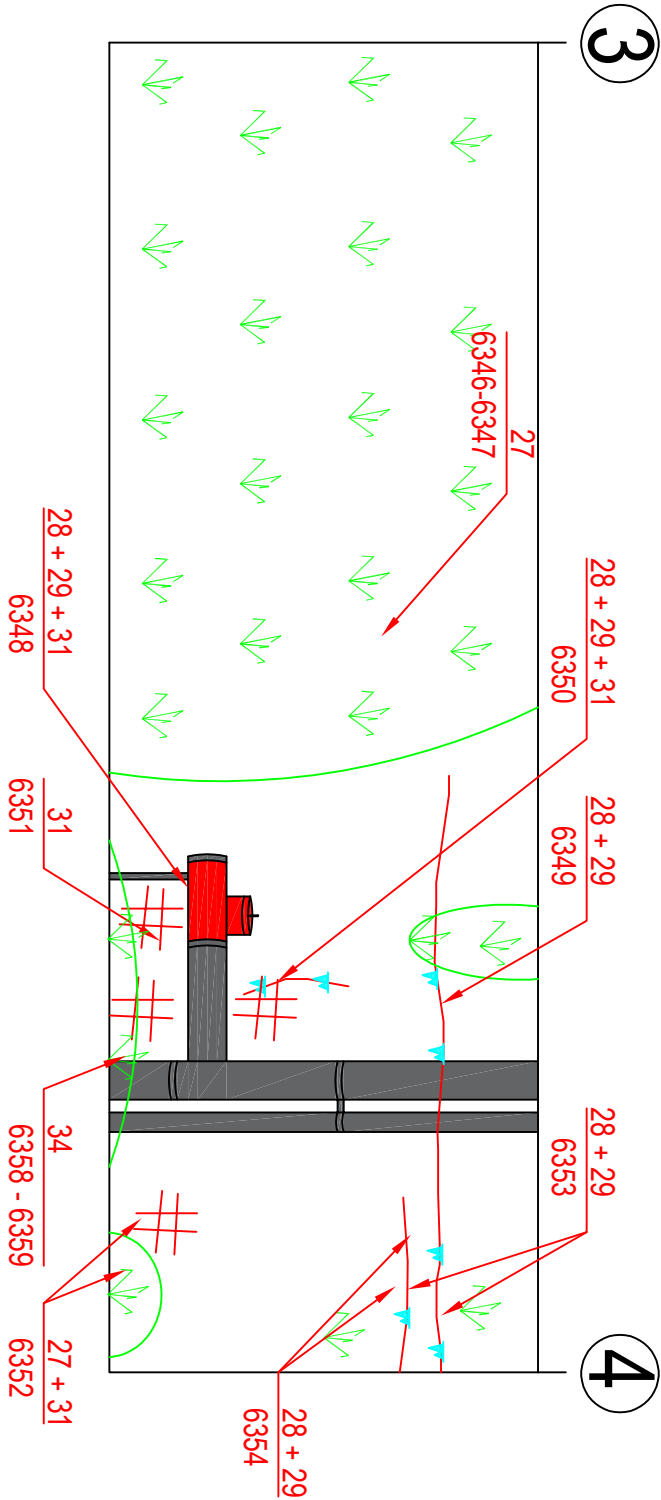
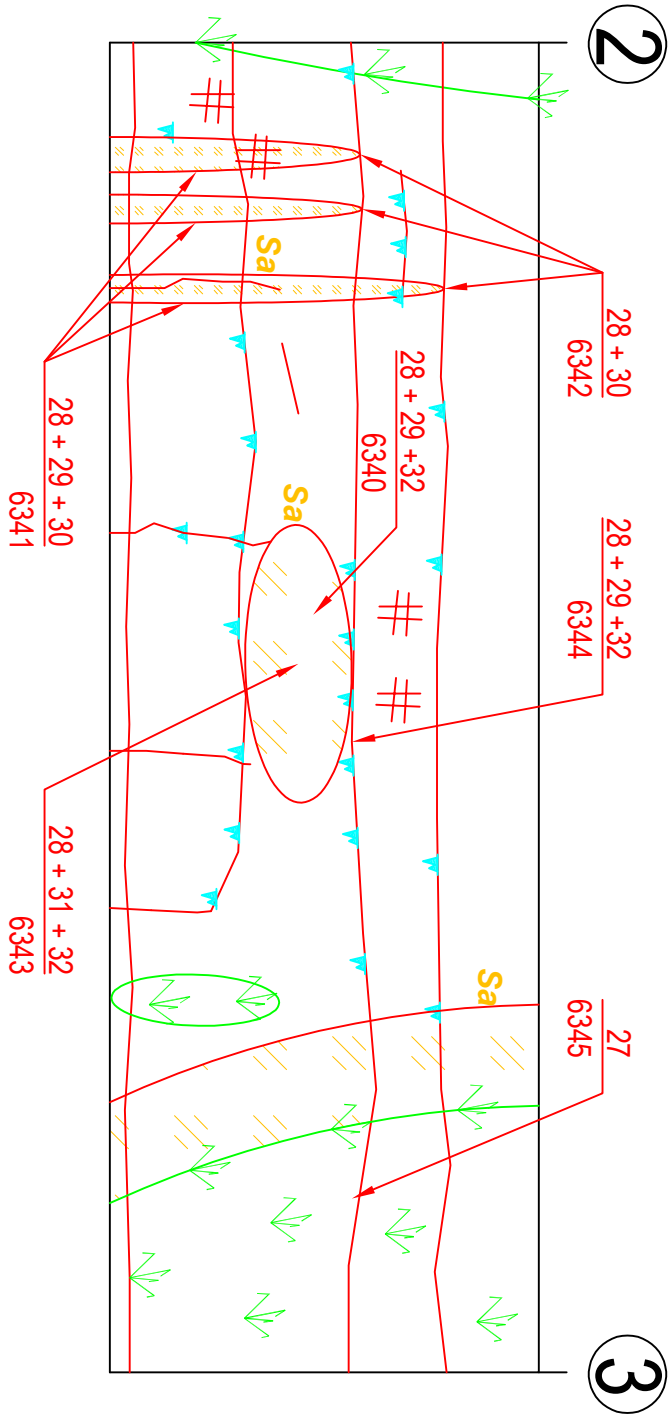
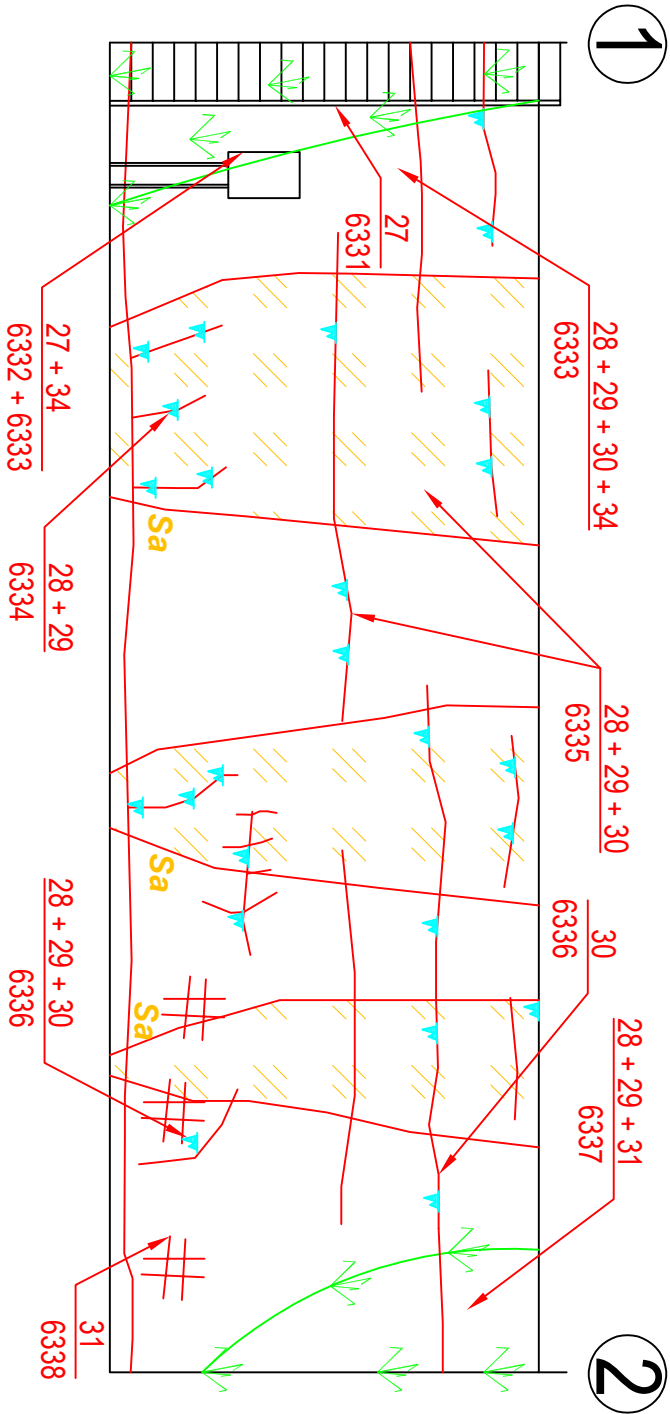
Légende :

- Prélèvement par carottage
- Sondage destructif par burinage
- Essais par scellement de pastille
- Enregistrement radar - Ligne verticale
- Enregistrement radar - Ligne horizontale $\approx 1,10$ m ht
- Enregistrement radar - Ligne horizontale $\approx 2,00$ m ht

Réservoir des Capucins - Plateau des Capucins Implantation des investigations. Extérieur - Coupole du réservoir.			 <div>Ginger CEBTP Agence de Rennes ZA Beauséjour 35520 LA MEZIERE</div>
Dossier : ORE3.J0061.0027		N° Plan : 2/7	
Echelle : Neant		Date : 15/12/2022	

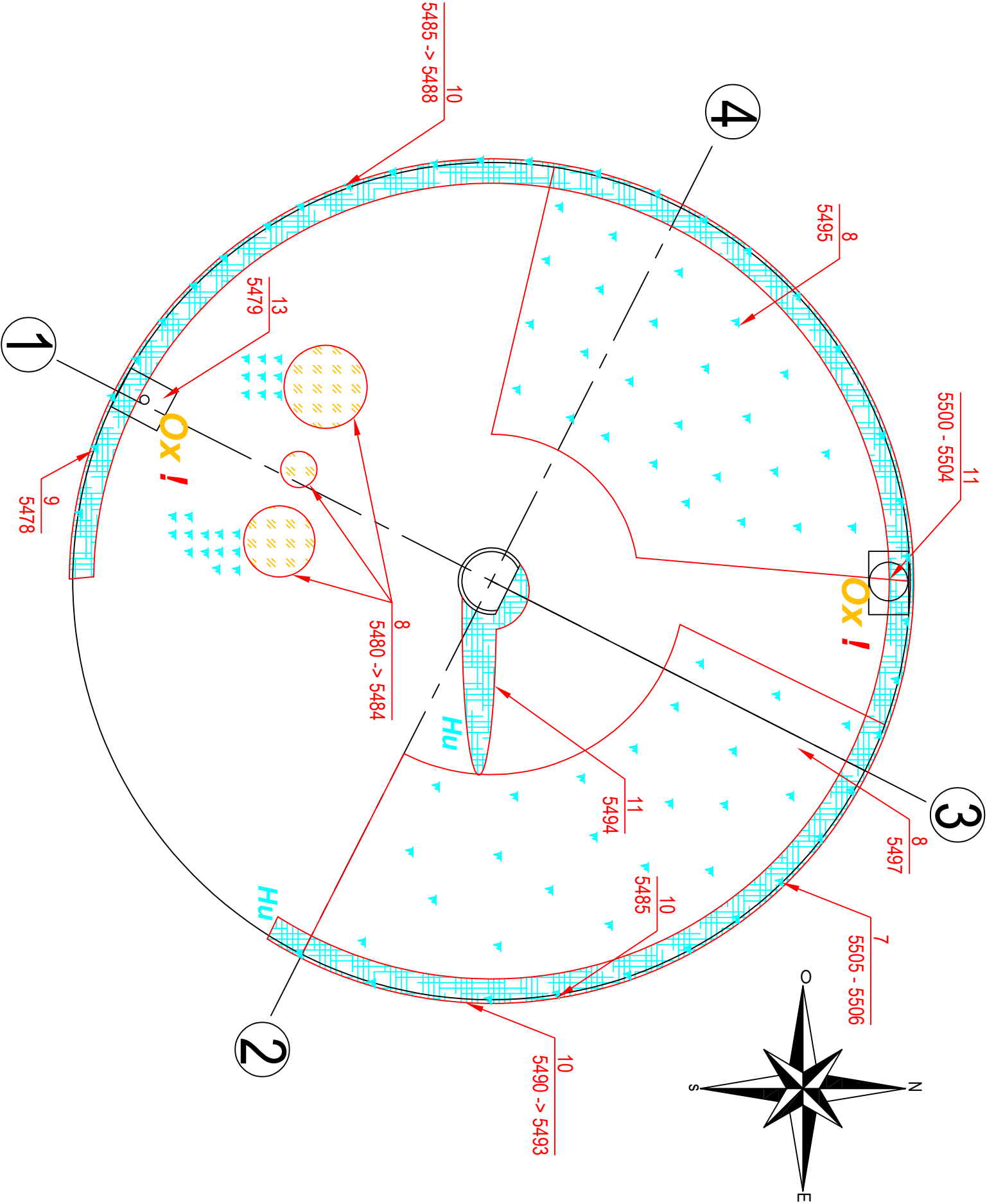


Légende :		
Désordres propres aux structures en béton armé	Désordres propres aux structures en profilés métalliques	Désordres communs
<div><div> Fissuration</div><div> Calcite</div><div> Nid de cailloux (Ndc)</div><div> Réparation (Ra)</div><div> Armature aparente corrodé</div><div> Faiençage</div><div> Eclat (Ec)</div><div> Eclat en formation (Ec_f)</div></div>	<div><div> Ox Traces d'oxydation</div><div> OxP Corrosion feuilletante</div><div> Z Corrosion perforante</div><div> X Déformation ou choc élément manquant</div></div> <div><div>Repères :</div><div> N° désordre</div><div> N° Photo</div></div>	<div><div> Humidité</div><div> Salissures</div><div> Micro-organismes</div><div> Végétation</div><div> Ecaillage revêtement</div><div> <i>Ecr</i></div></div>
<div><div><div>Réservoir des Capucins - Plateau des Capucins</div><div>Implantation des Désordres.</div><div>Extérieur - Coupole du réservoir.</div></div></div>		
<div><div>Dossier : ORE3.J0061.0027</div><div>N° Plan : 3/7</div></div>		<div><div></div><div><div>Ginger CEBTP</div><div>Agence de Rennes</div><div>ZA Beauséjour</div><div>35520 LA MEZIERE</div></div></div>

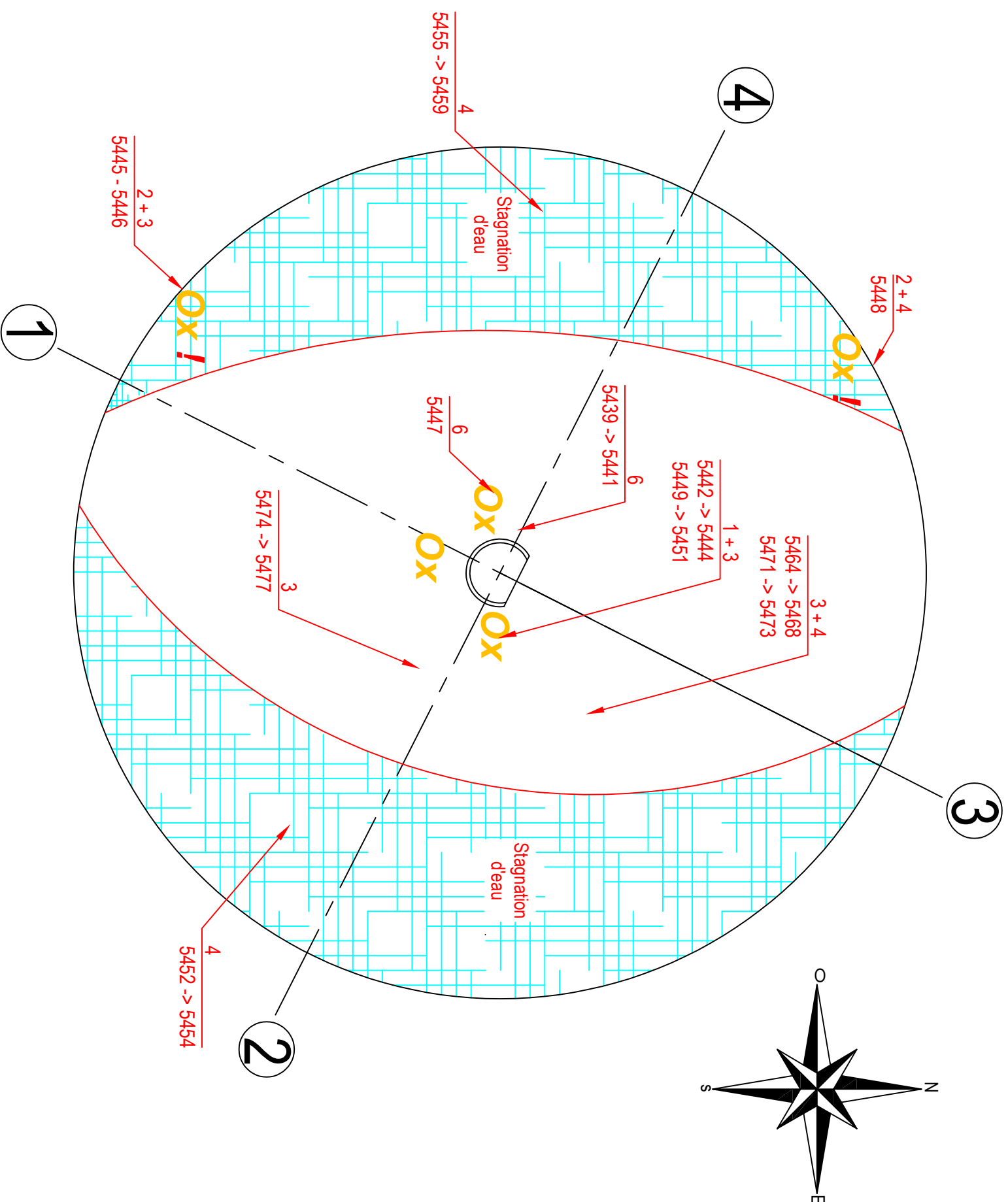






















Légende :

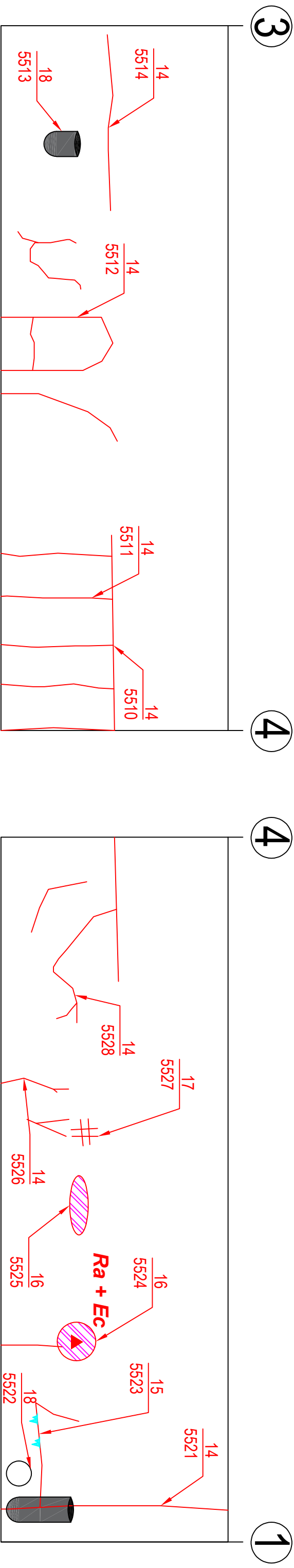
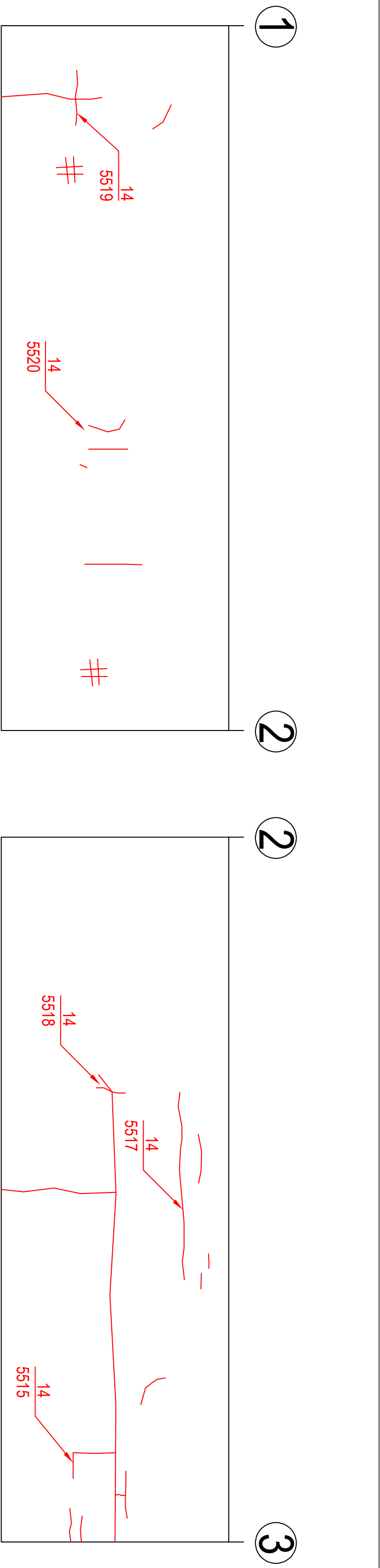
Désordres propres aux structures en béton armé	Désordres propres aux structures en profils métalliques	Désordres communs	Réservoir des Capucins - Plateau des Capucins Implantation des Désordres. Extérieur - Voiles du réservoir.		
<div><div>/f-µf</div><div>Calcite</div><div>Nid de cailloux (Ndc)</div><div>Réparation (Ra)</div><div>Aac</div><div>Armature aparente corrodé</div><div>Faièngage</div><div>Eclet (Ec)</div><div>Eclet en formation (Ec)</div></div>	<div><div>Ox</div><div>Traces d'oxydation</div><div>OxF</div><div>Corrosion feuilletante</div><div>OxP</div><div>Corrosion perforante</div><div>Z</div><div>Déformation ou choc</div><div>X</div><div>élément manquant</div></div>	<div><div>Hu</div><div>Humidité</div><div>Sa</div><div>Salissures</div><div>Mo</div><div>Micro-organismes</div><div>Vé</div><div>Végétation</div><div>Ec</div><div>Ecaillage revêtement</div></div>	Dossier : ORE3.J0061.0027		
			N° Plan : 4/7		
			Echelle : Neant		
			Date : 20/12/2022		
			Ginger CEBTP Agence de Rennes ZA Beauséjour 35520 LA MEZIERE		



Légende :			
Désordres propres aux structures en béton armé		Désordres propres aux structures en profils métalliques	
/f-µf		Ox	
Calcite		Ox	
Nid de cailloux (Ndc)		OxP	
Réparation (Ra)		Z	
Armature aparente corrodé		X	
Aac		Repères :	
Faïençage		N° désordre	
Eclat (Ec)		N° Photo	
Eclat en formation (Ec)			
Désordres communs		Humidité	
		Salissures	
		Micro-organismes	
		Végétation	
		Ecaillage revêtement	
Réservoir des Capucins - Plateau des Capucins Implantation des Désordres. Intérieur - Coupole du réservoir.		Dossier : ORE3.J0061.0027	
		Echelle : Neant	
		N° Plan : 5/7	
		Date : 20/12/2022	
		Ginger CEBTP Agence de Rennes ZA Beauséjour 35520 LA MEZIERE	



<p align="center"><u>Légende :</u></p>			<p align="center"> Réservoir des Capucins - Plateau des Capucins <i>Implantation des Désordres.</i> <i>Intérieur - Radier du réservoir.</i> </p>	<p align="center"> GINGER CEBTP </p>
<p>Désordres propres aux structures en béton armé</p>	<p>Désordres propres aux structures en profilés métalliques</p>	<p>Désordres communs</p>		
<p>  Fissuration  Calcite  Nid de cailloux (Ndc)  Réparation (Ra)  Armature apparente corrodé  Faïençage  Eclat (Ec)  Eclat en formation (Ec_f) </p>	<p>  Ox Traces d'oxydation  Ox_F Corrosion feuilletante  Ox_P Corrosion perforante  Z Déformation ou choc  X élément manquant </p>	<p>  Humidité  Salissures  Micro-organismes  Végétation  Ecaillage revêtement </p>		
<p>Repères :</p> <p align="center">  N° désordre  N° Photo </p>			<p align="center"> Dossier : ORE3.J0061.0027 </p>	<p align="center"> N° Plan : 6/7 </p>
<p align="center">Echelle : Neant</p>			<p align="center">Date : 20/12/2022</p>	<p align="center"> Ginger CEBTP Agence de Rennes ZA Beauséjour 35520 LA MEZIERE </p>



Légende :			
Désordres propres aux structures en béton armé	Désordres propres aux structures en profils métalliques	Désordres communs	
<div><div>/f-µf</div><div>Fissuration</div></div> <div><div></div><div>Calcite</div></div> <div><div></div><div>Nid de cailloux (Ndc)</div></div> <div><div></div><div>Réparation (Ra)</div></div> <div><div>Aac</div><div>Armature aparente corrodé</div></div> <div><div>#</div><div>Faïençage</div></div> <div><div>▲</div><div>Eclat (Ec)</div></div> <div><div>▲</div><div>Eclat en formation (Ecƒ)</div></div>	<div><div>Ox</div><div>Traces d'oxydation</div></div> <div><div>OxF</div><div>Corrosion feuilletante</div></div> <div><div>OxP</div><div>Corrosion perforante</div></div> <div><div>Z</div><div>Déformation ou choc</div></div> <div><div>X</div><div>élément manquant</div></div>	<div><div></div><div>Humidité</div></div> <div><div>Hu</div><div>Salissures</div></div> <div><div>Sa</div><div>Micro-organismes</div></div> <div><div>Mo</div><div>Végétation</div></div> <div><div>Vé</div><div>Ecaillage revêtement</div></div>	<div><div></div><div>Repères :</div></div> <div><div>N° désordre</div><div>N° Photo</div></div>

Réservoir des Capucins - Plateau des Capucins			
Implantation des Désordres.			
Intérieur - Voiles du réservoir.			
Dossier : ORE3.J0061.0027		N° Plan : 7/7	
Echelle : Neant		Date : 20/12/2022	
		Ginger CEBTP	
		Agence de Rennes	
		ZA Beauséjour	
		35520 LA MEZIERE	

ANNEXE 2

PLANCHE PHOTOGRAPHIQUE



IMGP5442.JPG



IMGP5443.JPG



IMGP5444.JPG



IMGP5445.JPG



IMGP5446.JPG



IMGP5447.JPG



IMGP5448.JPG



IMGP5449.JPG



IMGP5450.JPG



IMGP5451.JPG



IMGP5452.JPG



IMGP5453.JPG



IMGP5454.JPG



IMGP5455.JPG



IMGP5456.JPG



IMGP5457.JPG



IMGP5458.JPG



IMGP5459.JPG



20221116_152140.jp
g



20221116_152144.jp
g



20221116_152152.jp
g



20221116_152154.jp
g



20221116_152156.jp
g



20221116_152158.jp
g



IMGP5439.JPG



IMGP5440.JPG



IMGP5441.JPG

Annexe 2 - Planche Photographique



IMGP5460.JPG



IMGP5461.JPG



IMGP5462.JPG



IMGP5463.JPG



IMGP5464.JPG



IMGP5465.JPG



IMGP5466.JPG



IMGP5467.JPG



IMGP5468.JPG



IMGP5469.JPG



IMGP5470.JPG



IMGP5471.JPG



IMGP5472.JPG



IMGP5473.JPG



IMGP5474.JPG



IMGP5475.JPG



IMGP5476.JPG



IMGP5477.JPG

Annexe 2 - Planche Photographique



IMGP5478.JPG



IMGP5479.JPG



IMGP5480.JPG



IMGP5481.JPG



IMGP5482.JPG



IMGP5483.JPG



IMGP5484.JPG



IMGP5485.JPG



IMGP5486.JPG

Annexe 2 - Planche Photographique



IMGP5487.JPG



IMGP5488.JPG



IMGP5490.JPG



IMGP5491.JPG



IMGP5492.JPG



IMGP5493.JPG



IMGP5494.JPG



IMGP5495.JPG



IMGP5497.JPG



IMGP5500.JPG



IMGP5502.JPG



IMGP5503.JPG



IMGP5504.JPG



IMGP5505.JPG



IMGP5506.JPG



IMGP5507.JPG



IMGP5509.JPG



IMGP5510.JPG

Annexe 2 - Planche Photographique



IMGP5511.JPG



IMGP5512.JPG



IMGP5513.JPG



IMGP5514.JPG



IMGP5515.JPG



IMGP5516.JPG



IMGP5517.JPG



IMGP5518.JPG



IMGP5519.JPG

Annexe 2 - Planche Photographique



IMGP5520.JPG



IMGP5521.JPG



IMGP5522.JPG



IMGP5523.JPG



IMGP5524.JPG



IMGP5525.JPG



IMGP5526.JPG



IMGP5527.JPG



IMGP5528.JPG



IMGP5529.JPG



IMGP5530.JPG



IMGP5531.JPG



IMGP5532.JPG



IMGP5533.JPG



IMGP5534.JPG



IMGP5535.JPG



IMGP5536.JPG



IMGP5537.JPG



IMGP5538.JPG



IMGP5539.JPG



IMGP5540.JPG



IMGP5541.JPG



IMGP5542.JPG



IMGP5544.JPG



IMGP5545.JPG



IMGP5546.JPG



IMGP5547.JPG



IMGP5548.JPG



IMGP5549.JPG



IMGP5550.JPG



IMGP5552.JPG



IMGP5554.JPG



IMGP5555.JPG



IMGP5556.JPG



IMGP5557.JPG



IMGP6241.JPG

Annexe 2 - Planche Photographique



IMGP6242.JPG



IMGP6243.JPG



IMGP6244.JPG



IMGP6245.JPG



IMGP6246.JPG



IMGP6247.JPG



IMGP6248.JPG



IMGP6249.JPG



IMGP6250.JPG

Annexe 2 - Planche Photographique



IMGP6251.JPG



IMGP6252.JPG



IMGP6253.JPG



IMGP6254.JPG



IMGP6255.JPG



IMGP6256.JPG



IMGP6257.JPG



IMGP6258.JPG



IMGP6259.JPG

Annexe 2 - Planche Photographique



IMGP6260.JPG



IMGP6261.JPG



IMGP6262.JPG



IMGP6263.JPG



IMGP6264.JPG



IMGP6265.JPG



IMGP6266.JPG



IMGP6267.JPG



IMGP6268.JPG

Annexe 2 - Planche Photographique



IMGP6269.JPG



IMGP6270.JPG



IMGP6271.JPG



IMGP6272.JPG



IMGP6273.JPG



IMGP6274.JPG



IMGP6275.JPG



IMGP6276.JPG



IMGP6277.JPG

Annexe 2 - Planche Photographique



IMGP6278.JPG



IMGP6279.JPG



IMGP6280.JPG



IMGP6281.JPG



IMGP6282.JPG



IMGP6283.JPG



IMGP6284.JPG



IMGP6285.JPG



IMGP6286.JPG



IMGP6287.JPG



IMGP6288.JPG



IMGP6289.JPG



IMGP6290.JPG



IMGP6291.JPG



IMGP6292.JPG



IMGP6293.JPG



IMGP6294.JPG



IMGP6295.JPG

Annexe 2 - Planche Photographique



IMGP6296.JPG



IMGP6297.JPG



IMGP6298.JPG



IMGP6299.JPG



IMGP6300.JPG



IMGP6301.JPG



IMGP6302.JPG



IMGP6303.JPG



IMGP6304.JPG

Annexe 2 - Planche Photographique



IMGP6305.JPG



IMGP6306.JPG



IMGP6307.JPG



IMGP6308.JPG



IMGP6309.JPG



IMGP6310.JPG



IMGP6311.JPG



IMGP6312.JPG



IMGP6313.JPG

Annexe 2 - Planche Photographique



IMGP6314.JPG



IMGP6315.JPG



IMGP6316.JPG



IMGP6317.JPG



IMGP6318.JPG



IMGP6319.JPG



IMGP6320.JPG



IMGP6321.JPG



IMGP6322.JPG



IMGP6323.JPG



IMGP6324.JPG



IMGP6325.JPG



IMGP6326.JPG



IMGP6327.JPG



IMGP6328.JPG



IMGP6329.JPG



IMGP6330.JPG



IMGP6331.JPG

Annexe 2 - Planche Photographique



IMGP6332.JPG



IMGP6333.JPG



IMGP6334.JPG



IMGP6335.JPG



IMGP6336.JPG



IMGP6337.JPG



IMGP6338.JPG



IMGP6339.JPG



IMGP6340.JPG

Annexe 2 - Planche Photographique



IMGP6341.JPG



IMGP6342.JPG



IMGP6343.JPG



IMGP6344.JPG



IMGP6345.JPG



IMGP6346.JPG



IMGP6347.JPG



IMGP6348.JPG



IMGP6349.JPG

Annexe 2 - Planche Photographique



IMGP6350.JPG



IMGP6351.JPG



IMGP6352.JPG



IMGP6353.JPG



IMGP6354.JPG



IMGP6355.JPG



IMGP6356.JPG



IMGP6357.JPG



IMGP6358.JPG

Annexe 2 - Planche Photographique



IMGP6359.JPG



IMGP6360.JPG



IMGP6361.JPG



IMGP6362.JPG



IMGP6363.JPG



IMGP6364.JPG



IMGP6365.JPG

ANNEXE 3

RAPPORT D'ANALYSES – BDP6.M.0735

DOSSIER : N° BDP6-M-0735

RAPPORT D'ESSAIS 1.0 – Date : 17/01/2023

Dossier suivi par : **Warda BEN MESSAOUD**

☎ : 01 30 85 21 14

E-Mail : w.ben.messaoud@groupeginger.com

CLIENT : GINGER CEBTP NANTES

DOSSIER : N° ONA3-L-0041

I- ECHANTILLON

Référence du Demandeur : 1 carotte de béton non référencée

Affaire : Inspection approfondie réservoir des Capucins

N° de réception à GINGER CEBTP à Elancourt (78) : 147756 du 23/12/2022

II- PROGRAMME D'ESSAIS

Objet de la demande :

- Examen visuel préalable aux autres examens microstructuraux sur la carotte de béton.
- Examen au microscope électronique à balayage pour la recherche de pathologies sur la carotte de béton.
- Estimation du dosage en ciment sur le béton.
- Détermination du taux d'hydratation à cœur sur le béton.
- Estimation du rapport E/C sur le béton.

Observations : Le présent rapport comprend 15 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

Principes des essais :

Principe de l'examen visuel

L'examen visuel consiste en des observations à l'œil des échantillons. Celles-ci sont généralement réalisées sur les échantillons, à leur réception, exempts de toute préparation. Une description générale comportant les paramètres principaux des échantillons d'étude est alors réalisée.

Principe de l'examen au MEB

Cet essai consiste à étudier la microstructure du matériau et d'en rechercher les pathologies (ettringite comprimée, alcali-réaction, etc.). Le microscope électronique utilisé est un JEOL JSM 840 A. Le spectromètre à sélection d'énergie est un IMIX-PC - Princeton Gamma-Tech. Grâce à sa grande profondeur de champ, le microscope électronique à balayage (M.E.B.) est particulièrement adapté à l'examen des surfaces et fournit une vision tridimensionnelle de l'échantillon sur une très large gamme de grossissements. Le MEB est couplé avec un spectromètre à sélection d'énergie (EDS) qui, permettant de détecter les photons X émis, fournit une analyse élémentaire quasi ponctuelle du matériau ou une cartographie montrant la répartition des éléments chimiques dans la zone observée au microscope. Cette détection est cependant limitée aux éléments de numéro atomique $Z \geq 5$ (Bore, B), pour un volume minimal analysé d'environ 1 micron cube, et une limite de détection de l'ordre de 1% relatif. Avant examen, les échantillons sont séchés et métallisés au carbone. Cet examen est effectué conformément aux documents GINGER CEBTP référencés ELAN/IMAT/I08, ELAN/IMAT/I13 et ELAN/IMAT/I20 et ELAN/IMAT/I46.

Principe du dosage en ciment

Le dosage en ciment est établi à l'aide de la mesure de la densité et de la porosité selon la norme NF P 18-459 ainsi que d'une analyse chimique élémentaire comprenant :

- Le dosage des principaux oxydes traceurs (SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , CaO , SO_3 , MgO , Na_2O , K_2O) par spectrométrie d'émission plasma à couplage inductif.
- La détermination du résidu insoluble après une attaque acide.
- La détermination des pertes au feu à 80°C, 550°C et 975°C par calcination.
- Le test des sulfures à l'aide du papier d'acétate de plomb.

Principe du taux d'hydratation et de l'estimation du rapport E/C

L'estimation du taux d'hydratation à cœur est réalisée par traitement thermique à 700°C avec un dosage spécifique de l'eau par le réactif de Karl Fischer ; le taux d'hydratation associé à l'estimation du dosage en ciment permet d'estimer le rapport pondéral Eau sur Ciment (E/C).

Date des essais : Décembre 2022 et Janvier 2023

III- RESULTATS

III-1- Résultats de l'examen visuel et de l'examen au microscope électronique à balayage

Les résultats de ces examens sont donnés sous forme d'une fiche et de planches photographiques ci-après.

Référence du prélèvement : Carotte de béton

Description : L'échantillon est une carotte de béton d'un diamètre de l'ordre de 100 mm pour une longueur estimée à 145 mm (voir photo n°1). En surface, l'aspect est granuleux et de couleur grise avec des traces de couleurs brunâtres et blanchâtres (voir photo n°2). Sur 1 cm depuis la surface, le liant est de couleur blanche. Le reste du liant du béton est de couleur grise, et comporte des gravillons de couleur noire, de formes sub-anguleuses à anguleuses et d'un passant maximal estimé à 18 mm. Quelques traces de couleur brunâtre sont présentes dans le liant.

Profondeur de carbonatation : Un test à la phénolphthaléine n'indique aucune coloration du liant sur environ 10 mm depuis la surface, puis une coloration totale du liant du béton au-delà.

Zone de prélèvement :

- | | |
|--|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> En surface | <input checked="" type="checkbox"/> Sur fracture à cœur |
| <input checked="" type="checkbox"/> Sur fracture à proximité de la surface | <input type="checkbox"/> Autre |

Surface : Le liant est d'aspect granuleux à alvéolaire et présente parfois un aspect craquelé (voir photo n°3). Ses analyses sont lixiviées avec des traces importantes de l'élément Mg et parfois Cl (voir spectre n°1). D'abondants micro-organismes sont observés à ce niveau (voir photo n°4). Les grains de sable sont de natures siliceuses et feldspathiques. Ils sont souvent dégagés du liant (voir photo n°5).

Fracture de la surface : En vue général, l'aspect de l'échantillon est déstructuré (voir photo n°6). Des traces de composés riches en C et parfois en Cl sont notés en extrême surface (voir photo n°7 et spectre n°2). Le liant à proximité de la surface est d'aspect alvéolaire à granuleux et est faiblement à moyennement compact (voir photo n°8). Ses analyses sont lixiviées avec des traces importantes de l'élément Mg (voir spectre n°3). Dans des zones plus éloignées de la surface, le béton est comme à cœur avec un aspect hétérogène, d'alvéolaire à presque dense et des analyses plus classiques (voir photo n°9 et spectre n°4). De l'ettringite en aiguilles est présente (voir photo n°10 et spectre n°5). Des grains de clinker résiduels sont notés. Les grains de sable sont de natures siliceuses (voir photo n°11 et spectre n°6), calcaires et feldspathiques.

Pâte de ciment à cœur :

L'analyse générale de la phase liante comporte les pics des éléments +/- Na, Mg, Al, Si, S, +/- Cl, +/- K et Ca (voir spectres n°7 et n°8).

Compacité d'ensemble :

- ☒ Faible
- ☒ Moyenne
- ☒ Importante

Ajouts observés :

- ☐ Cendres volantes
- ☐ Laitier
- ☐ Autres

Principaux hydrates observés :

- ☒ Silicates de calcium hydratés de faciès alvéolaire (voir photo n°12), granuleux à presque dense (voir photo n°13)
- ☒ Chaux hydratée en plaquettes (voir photo n°14 et spectre n°9) et empilements de plaquettes
- ☒ Aluminates de calcium hydratés (voir photo n°15 et spectre n°10)
- ☒ Chloro-aluminates de calcium hydratés (voir photo n°16 et spectre n°11)
- ☒ Trisulfoaluminates de calcium hydratés (ettringite) en aiguilles dans des porosités (voir photo n°17 et spectre n°12), parfois coalescentes (voir photo n°18 et spectre n°13)

Granulats :

Nature des gravillons : Siliceuse

Nature du sable : Siliceuse, feldspathique, ferromagnésienne et calcaires dont bioclastes

Contact avec le liant : Direct avec quelques petit espaces vides

Ruptures :

- ☐ Transgranulaires
- ☐ Intergranulaires
- ☒ Mixtes

Référence du prélèvement : Carotte de béton (suite)

Autres observations à cœur : Des grains riches en carbone de type imbrulé sont ponctuellement notés (voir photo n°19 et spectre n°14). Du clinker résiduel est régulièrement observé. Des porosités importantes avec des hydrates de tailles massives sont notées (voir photo n°20)

Pathologies potentielles :

- ☐ Ettringite massive et comprimée
- ☒ Clinker résiduel sur fracture surface et fracture à cœur
- ☒ Analyse lixiviée du liant en surface et en partie haute de la fracture surface
- ☒ Présence de l'élément Cl dans les analyses du liant à différents niveaux du béton et dans certains hydrates sur fracture à cœur

Examen visuel et examen MEB en surface



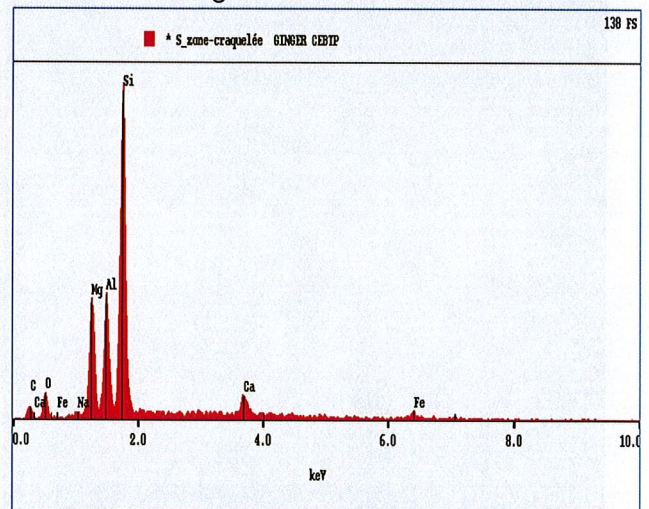
Photo n°1 Réf. : Banc photographique
Vue générale de profil



Photo n°2 Réf. : Banc photographique
Vue générale de la surface



Photo n°3 Réf. : MEB
Vue générale des zones craquelées



Spectre n°1 Réf. : EDS
Analyse indicative de la photo ci-contre



Photo n°4 Réf. : MEB
Micro-organismes



Photo n°5 Réf. : MEB
Grain de sable dégagé

Examen MEB sur fracture surface



Photo n°6 Réf. : MEB
Vue générale à proximité de la surface

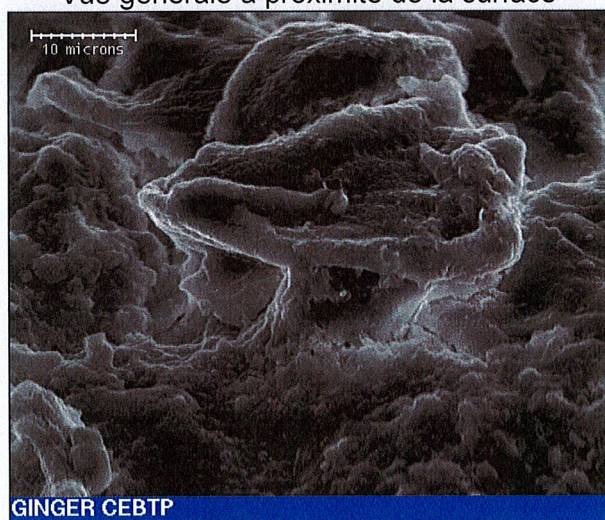
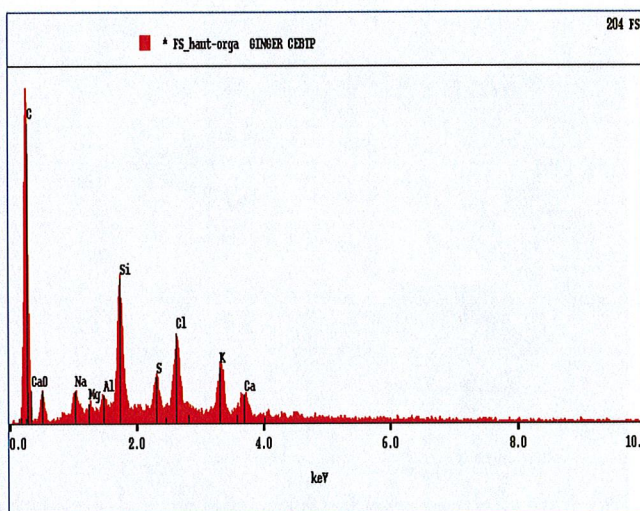


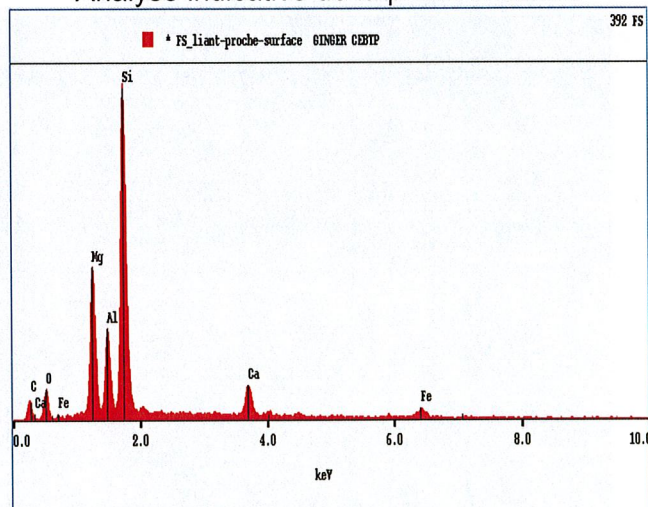
Photo n°7 Réf. : MEB
Micro-organismes



Photo n°8 Réf. : MEB
Aspect du liant



Spectre n°2 Réf. : EDS
Analyse indicative de la photo ci-contre



Spectre n°3 Réf. : EDS
Analyse indicative de la photo ci-contre

Examen MEB sur fracture surface

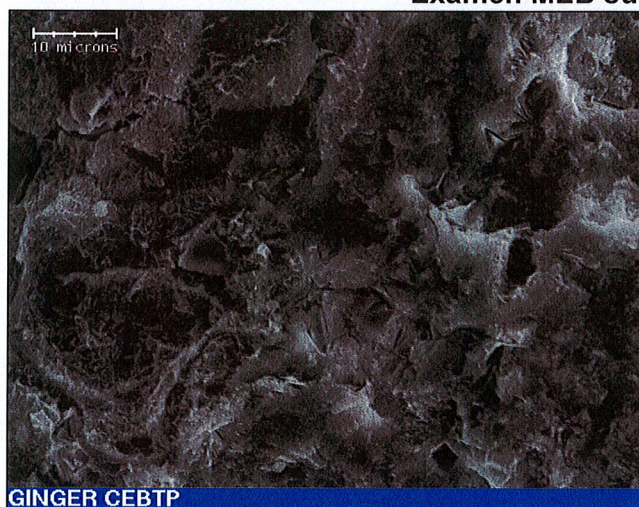
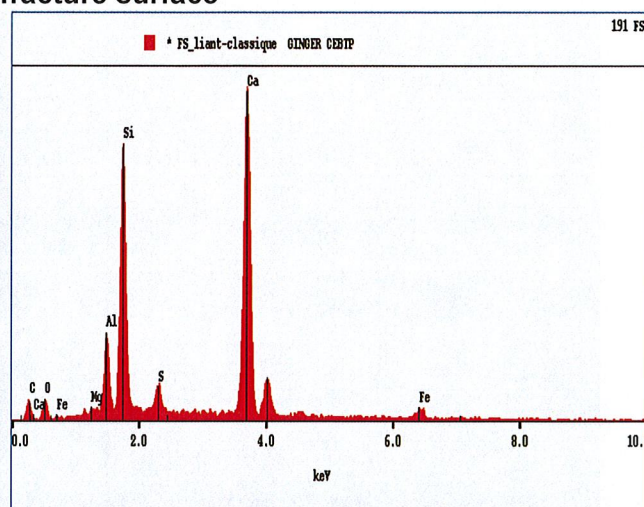


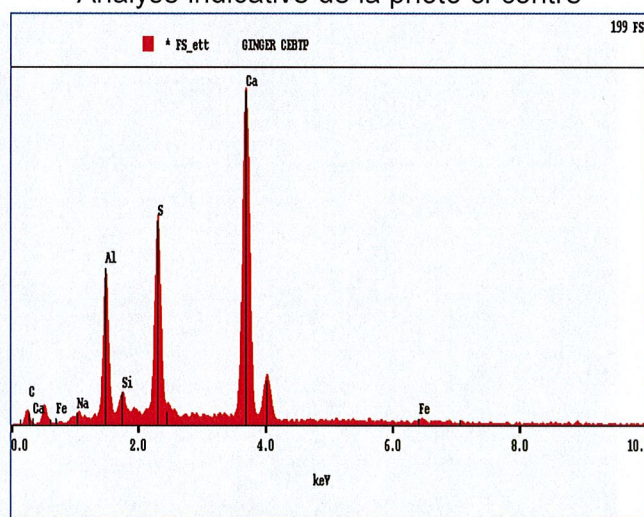
Photo n°9 Réf. : MEB
Autre aspect du liant



Spectre n°4 Réf. : EDS
Analyse indicative de la photo ci-contre



Photo n°10 Réf. : MEB
Ettringite en aiguilles



Spectre n°5 Réf. : EDS
Analyse indicative de la photo ci-contre

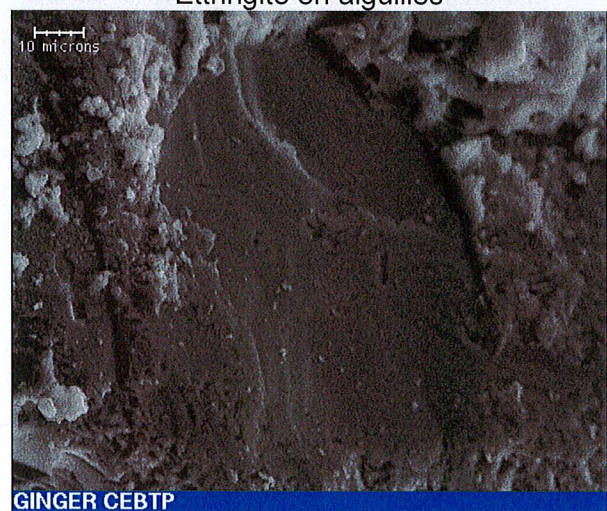
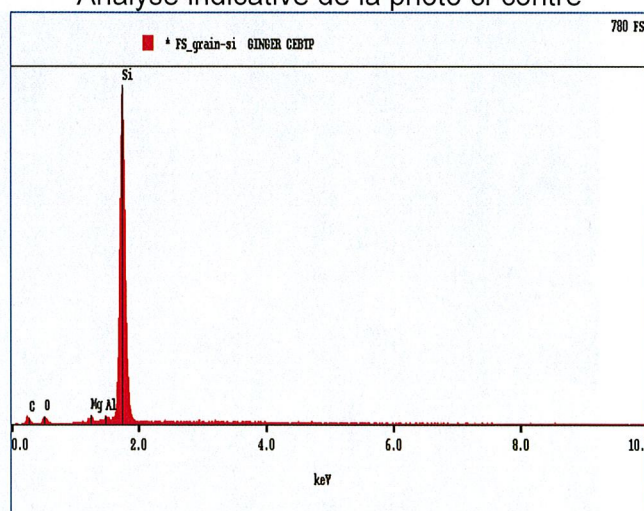


Photo n°11 Réf. : MEB
Grain siliceux

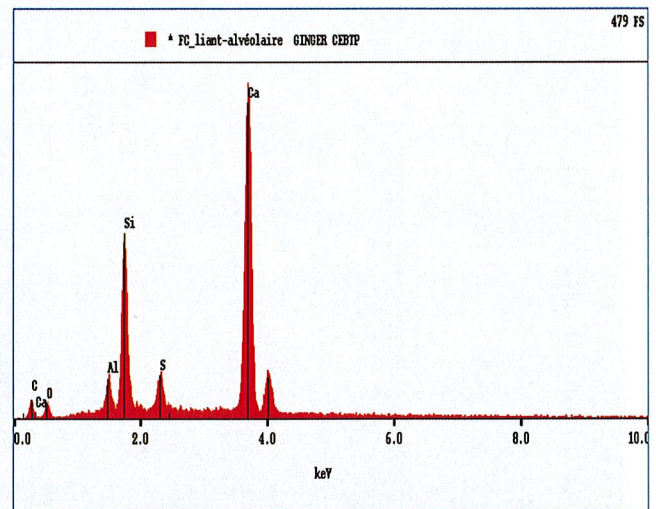


Spectre n°6 Réf. : EDS
Analyse indicative de la photo ci-contre

Examen MEB sur fracture à cœur



Photo n°12 Réf. : MEB
Aspect du liant alvéolaire



Analyse indicative de la photo ci-contre

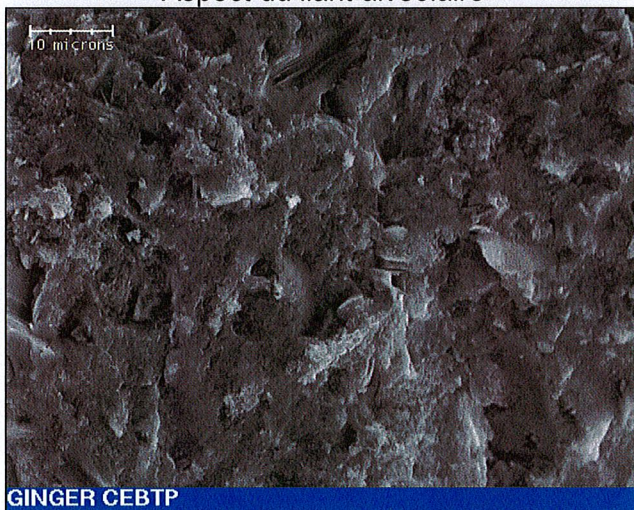
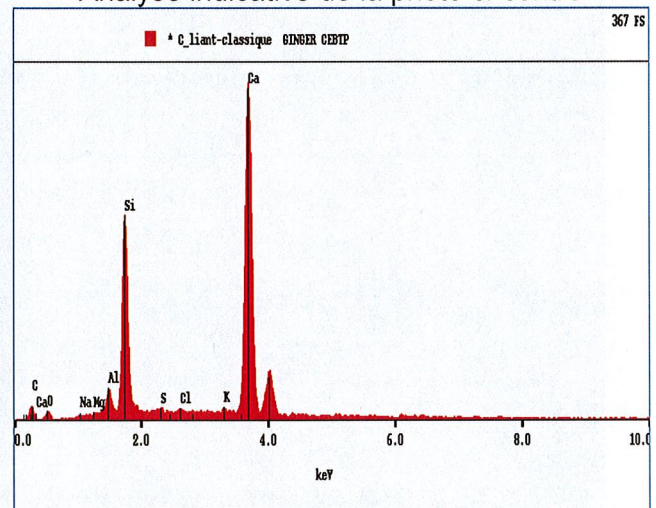


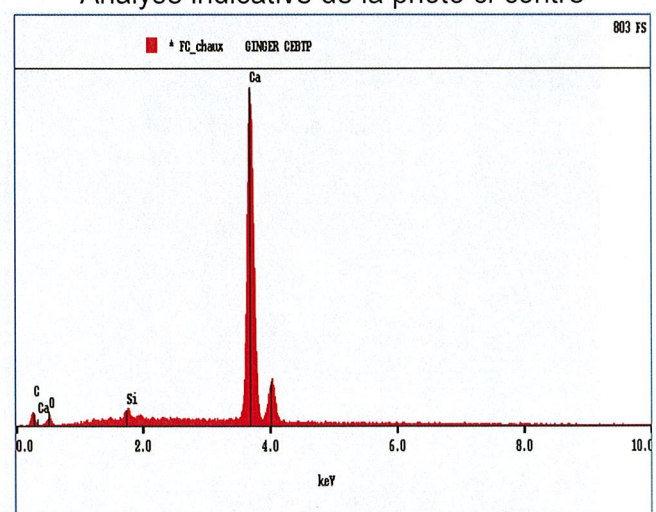
Photo n°13 Réf. : MEB
Autre aspect du liant



Analyse indicative de la photo ci-contre



Photo n°14 Réf. : MEB
Chaux hydratée en plaquettes



Analyse indicative de la photo ci-contre

Examen MEB sur fracture à cœur

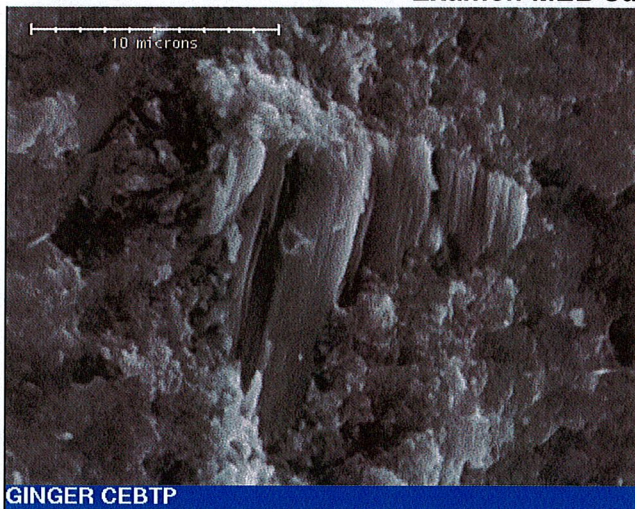
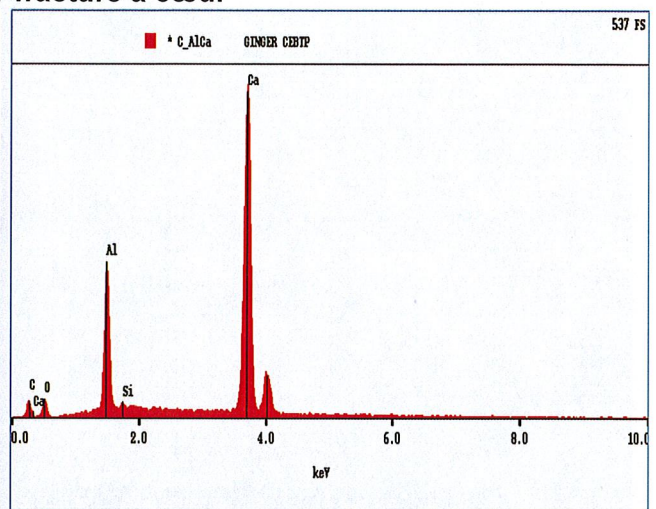


Photo n°15 Réf. : MEB
Aluminates de calcium hydratés



Spectre n°10 Réf. : EDS
Analyse indicative de la photo ci-contre

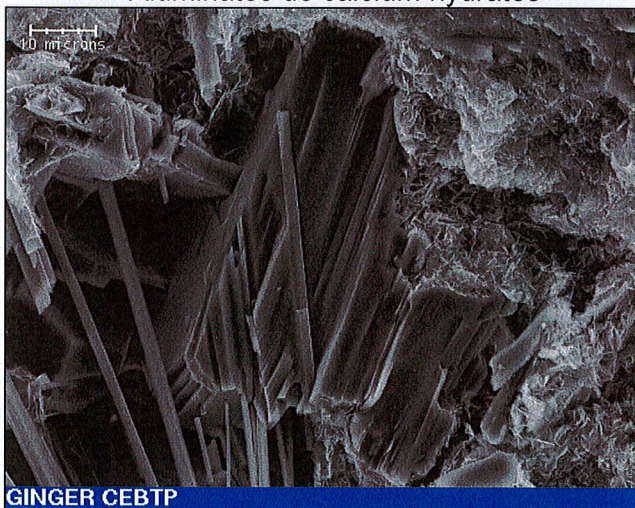
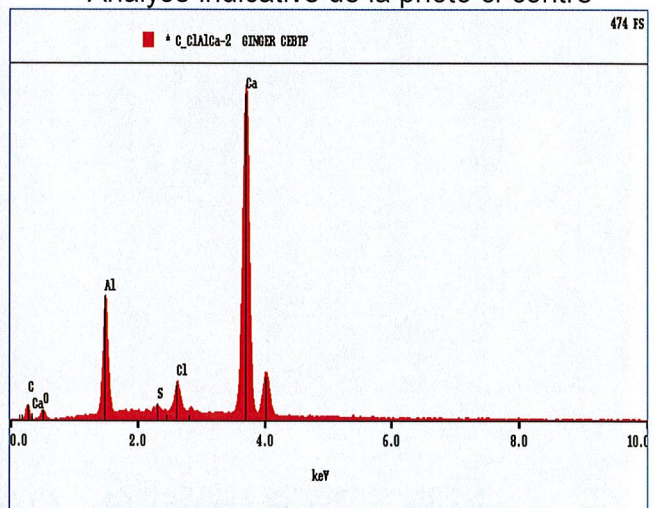


Photo n°16 Réf. : MEB
Chloro-aluminates de calcium hydratés



Spectre n°11 Réf. : EDS
Analyse indicative de la photo ci-contre

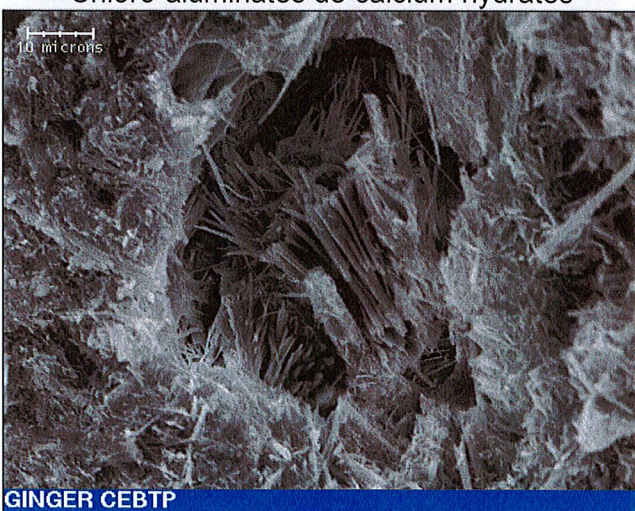
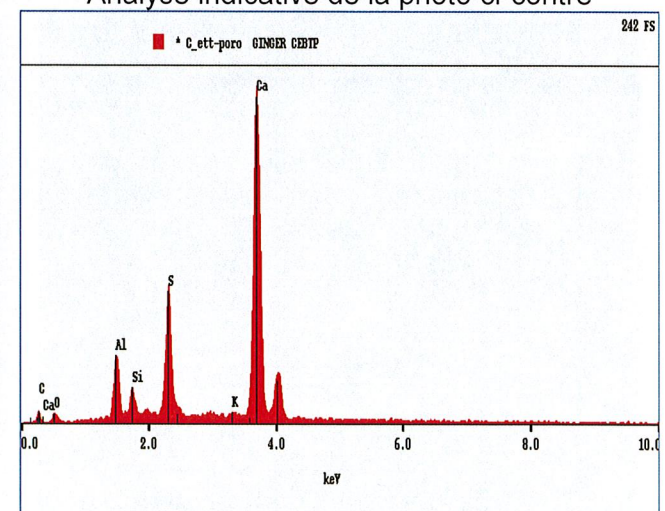


Photo n°17 Réf. : MEB
Ettringite en aiguilles dans une porosité



Spectre n°12 Réf. : EDS
Analyse indicative de la photo ci-contre

Examen MEB sur fracture à cœur

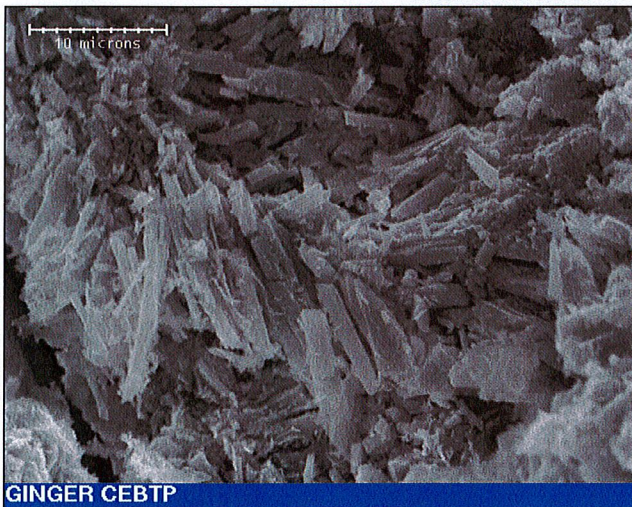
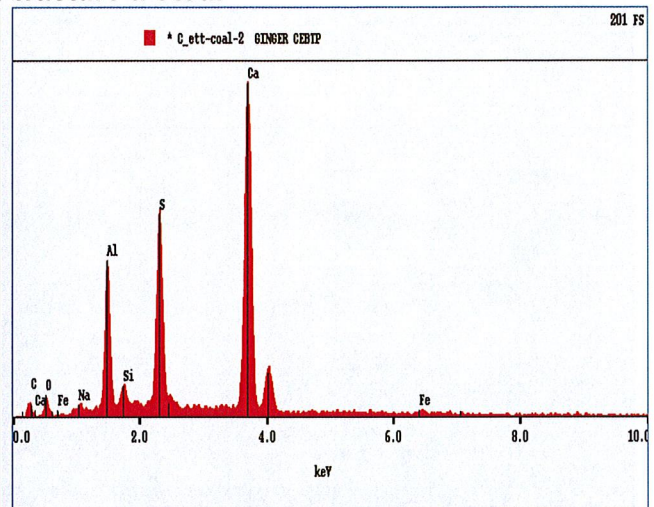


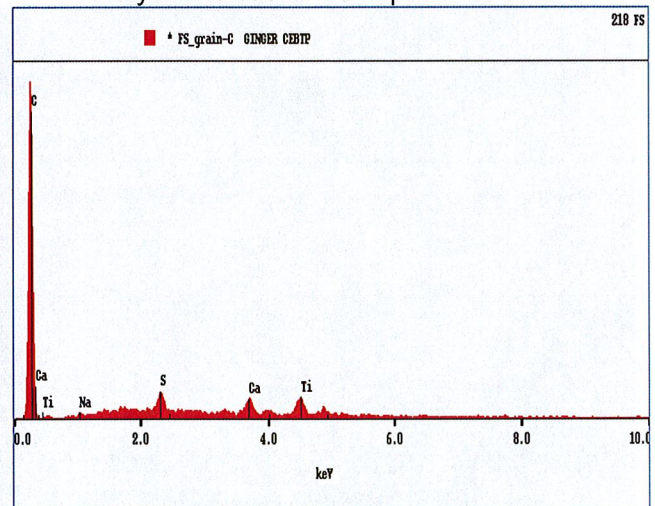
Photo n°18 Réf. : MEB
Ettringite en aiguilles coalescentes



Spectre n°13 Réf. : EDS
Analyse indicative de la photo ci-contre



Photo n°19 Réf. : MEB
Grain de type imbrulé



Spectre n°14 Réf. : EDS
Analyse indicative de la photo ci-contre

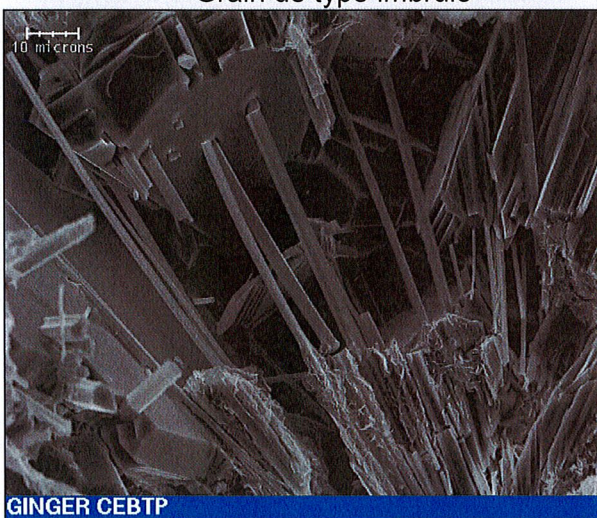


Photo n°20 Réf. : MEB
Hydrates massifs dans une large porosité

III-2- Analyse chimique élémentaire, densité apparente, porosité (% volumique des vides), teneur en eau totale et teneur en CO₂

Les résultats des essais sont présentés dans le tableau suivant :

		Béton	
Perte au feu	PAF 975 °C	9,93	%
<i>dont perte à 80 °C</i>	<i>PAF 80 °C</i>	<i>1,78</i>	<i>%</i>
<i>dont perte à 550 °C</i>	<i>PAF 550 °C</i>	<i>6,44</i>	<i>%</i>
Insoluble	INS	69,38	%
Silice soluble	SiO₂	4,01	%
Oxyde de fer	Fe₂O₃	0,51	%
Alumine	Al₂O₃	1,57	%
Oxyde de calcium	CaO	12,94	%
Anhydride sulfurique	SO₃	0,42	%
Sulfure	S	Traces	
Magnésie	MgO	0,34	%
Oxyde de sodium	Na₂O	0,04	%
Oxyde de potassium	K₂O	0,06	%
Densité apparente sèche		2,14	
Porosité (% volumes de vides)		18,4	
% eau totale		5,83	%
% CO ₂		3,49	%

Analyse chimique, densité, porosité, teneur en eau totale et teneur en CO₂

La teneur en CO₂ correspond à la différence entre la perte au feu à 975°C et la perte au feu à 550 °C.

III-3- Estimation de la teneur en ciment

Teneur en ciment par la méthode de la silice soluble

La teneur en ciment C_1 s'exprime selon la relation suivante :

$$C_1(\%) = \frac{\text{SiO}_2\text{sol}^B(\%)}{\text{SiO}_2\text{sol}^C(\%)} \times 100$$

Les indices B et C se rapportent respectivement au béton et au ciment.

Sans information du client concernant la nature du ciment et suite à l'observation microstructurale du béton, on émet l'hypothèse que le liant constitutif du béton est un ciment CEM I. Ce type de ciment titre généralement entre 18,5 et 22,5 % de silice soluble.

Dans le cas présent, on estime que le ciment titre 21 % de silice soluble.

Teneur en ciment par la méthode des inertes

La teneur en ciment C_2 s'exprime selon la relation suivante :

$$C_2(\%) = 100 - [\text{charges siliceuses}(\%) + \text{charges calcaires}(\%) + \text{PAF } 550^\circ\text{C} + \text{CO}_2^{\text{carbo}}(\%)]$$

La teneur en charges siliceuses est assimilable à la teneur en insoluble.

La teneur en charges calcaires est calculée à partir de la formule suivante :

$$\text{charges calcaires}(\%) = 2,27 \times [\text{CO}_2(\%) - \text{CO}_2^{\text{carbo}}(\%)]$$

On estime la teneur en dioxyde de carbone dû à la carbonatation du liant ($\text{CO}_2^{\text{carbo}}$) forfaitairement égale à 1 %.

Calcul de la teneur en ciment la plus probable

Le calcul de la teneur en ciment la plus probable est effectué à partir de la formule suivante :

$$\text{Ciment } C(\%) = \frac{C_1 + C_2}{2}$$

Le tableau suivant donne les valeurs de C, C_1 et C_2 obtenues d'après ces calculs :

	Béton
C_1 (%)	19,1
C_2 (%)	17,5
C (%)	18,3

Teneur en ciment

III-4- Estimation du dosage en ciment

La détermination du dosage en ciment en kg/m^3 est égale à la teneur en ciment C multipliée par 10 fois la densité du matériau.

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

	Béton
Dosage ciment (kg/m^3) ($\pm 10\%$)	390

Dosage en ciment

III-5- Taux d'hydratation du béton

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°C .

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

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

Le résultat de pourcentage d'eau liée par rapport au ciment obtenu est présenté dans le tableau suivant :

	Béton
% Perte au feu 80°C	1,78
% eau totale	5,83
% ciment	18,3
% eau liée / matériau	4,04
% eau liée / ciment	22,1

Pourcentage d'eau liée par rapport au ciment

III-6- 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 l'air piégé par les granulats compris entre 0,5 et 2,5 %.

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

	Béton
E/C	0,55 – 0,65

Estimation du rapport Eau / Ciment

IV- SYNTHESE

IV-1- Examen au microscope électronique à balayage

Observations	Carotte de béton
Liant	S : Liant lixivié avec des traces importantes de l'élément Mg et d'aspect alvéolaire à granuleux
	FS : Liant lixivié avec des traces importantes de l'élément Mg à proximité de la surface et d'analyse classique dans des zones plus éloignées. L'aspect est alvéolaire à presque dense
	FC : Liant hydraulique d'analyse classique et d'aspect alvéolaire à presque dense
Hydrates	FS : Ettringite en aiguilles
	FC : Aluminates de calcium hydratés et chloro-aluminates de calcium hydratés // Ettringite en aiguilles parfois coalescentes
Autres	S : Micro-organismes
	FS et FC : Quelques grains de laitier et des grains de clinker résiduel
	FC : Grain de type imbrulé
Pathologies potentielles	Liant d'analyse lixiviée en surface et FS // Présence de l'élément Cl dans le liant à différents niveaux du béton et dans les hydrates sur FC

Tableau récapitulatif des observations au MEB-EDS.

Légende :

S = Surface

FS = Fracture à proximité de la surface

FC = Fracture à cœur

Le béton présente un liant très altéré par la lixiviation en surface et sur une grande profondeur en FS. A cœur, le liant est très hétérogène. Il présente d'importantes cavités et porosités dans lesquelles se trouvent des hydrates massifs. Il est à noter la présence de clinker résiduel qui peut indiquer un déficit d'hydratation.

IV-2- Analyses chimiques



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

	Béton
Dosage en ciment (kg/m ³) *	390
Porosité à cœur (% volumes de vides)	18,4
Rapport E/C	0,55 – 0,65
Taux d'hydratation (%) **	88

Tableau de synthèse des analyses chimiques

* : Cette estimation a été faite à partir de l'hypothèse de l'utilisation d'un ciment CEM I titrant 21 % de silice soluble et de charges siliceuses et calcaires. Dans le cas d'un ciment de type CEM II au filler calcaire, il faudrait alors pondérer ce résultat par la teneur en filler calcaire dans le ciment.

** : Le taux d'hydratation a été déterminé en considérant que l'hydratation maximale des ciments est de 25 %. Le béton ne présente pas de défaut d'hydratation.

Dossier rédigé par	
Warda BEN MESSAOUD Chargée d'affaires 	Hélène BARBIER Référente Microstructure 



LE RESEAU



La Réunion



Guyane



Martinique



Guadeloupe



Nouvelle
Calédonie



Polynésie



Maghreb

CONTACT

Agence de RENNES

ZA d'activité Beauséjour,
Rue de l'Aiguillage
35520 LA MEZIERE
Tél. : +33 (0)2 99 27 51 10
Fax. : +33 (0)2 99 63 84 57

Email : cebtp.rennes@groupeginger.com

www.groupeginger.com