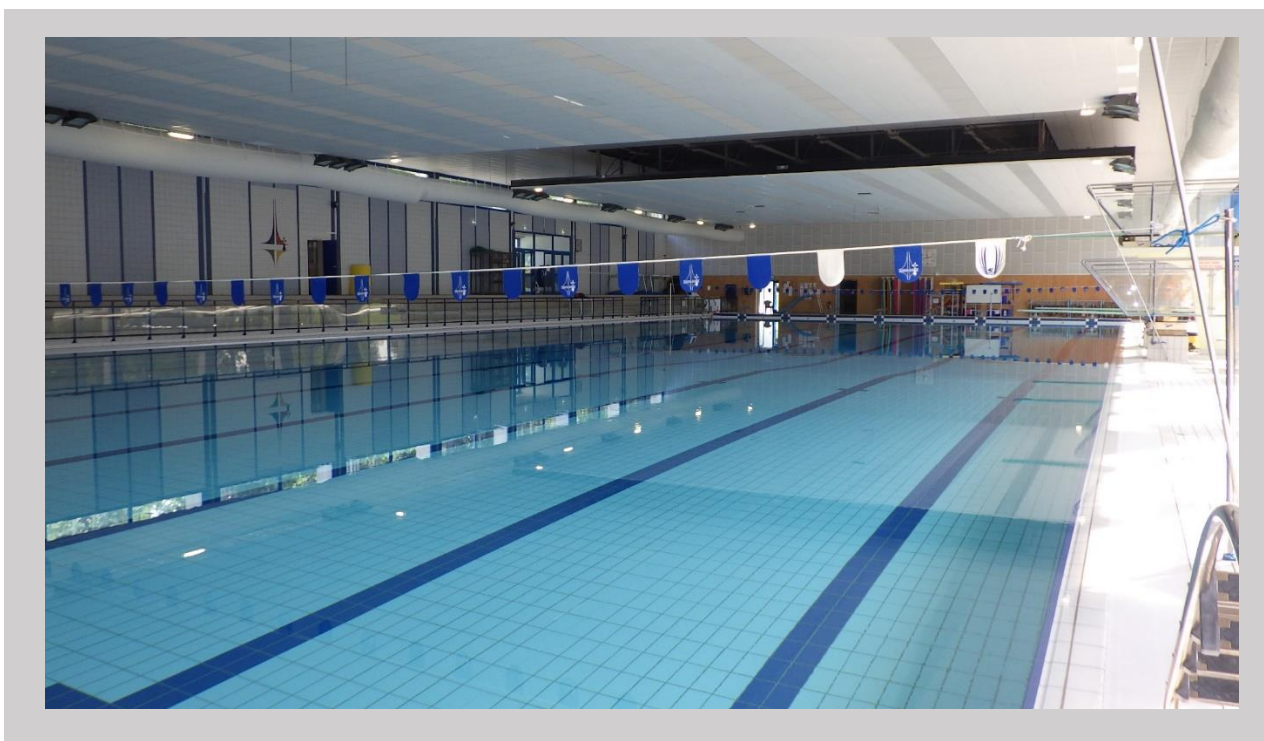


DEFENSE ENVIRONNEMENT SERVICE

Piscine du centre militaire de Coëtquidan

Diagnostic pour la réhabilitation d'ouvrages du Génie Civil en béton armé



Rapport

Identification du document

<i>Client</i>	DEFENSE ENVIRONNEMENT SERVICE			
<i>Ouvrage</i>	PISCINE DU CENTRE MILITAIRE DE COËTQUIDAN			
<i>Intitulé</i>	DIAGNOSTIC POUR LA REHABILITATION D'OUVRAGES DU GENIE CIVIL EN BETON ARME			
<i>Référence</i>	<i>Nature</i>	<i>Indice</i>	<i>Nb pages</i>	<i>Nb annexes</i>
A21_04881_BEI	DIA	A	42	4

Liste des annexes

Annexe 1	Planches techniques d'inspection et de localisation
Annexe 2	Reportage photographique
Annexe 3	Enregistrements pachométriques
Annexe 4	Méthodologie des essais sur site et en laboratoire

Suivi des indices

<i>Indice</i>	<i>Date</i>	<i>Modifications</i>	<i>Rédaction</i>	<i>Vérification</i>
A	12/10/2021	1 ^{ère} édition	T. GUITTON	L. BOURREAU / D.ARRIBE

Diffusion

<i>Entité</i>	<i>Destinataire</i>	<i>Nombre et type d'exemplaires</i>
DEFENSE ENVIRONNEMENT SERVICE	F. MEHAULT	1 exemplaire, version PDF

SOMMAIRE

I - INTRODUCTION	4
I.1 - CONTEXTE ET OBJET DE LA MISSION	4
I.2 - PRESENTATION DU RAPPORT	4
II - PRESENTATION DE L'OUVRAGE	5
II.1 - SITUATION GEOGRAPHIQUE	5
II.2 - DOSSIER D'OUVRAGE ET HISTORIQUE DES TRAVAUX	6
II.1.1 - Dossier d'ouvrage	6
II.1.2 - Historique des réparations	6
II.3 - CARACTERISTIQUES DE L'OUVRAGE	7
III - PRESENTATION DE LA MISSION	9
III.1 - PERSONNEL	9
III.2 - PROGRAMME D'INTERVENTION	9
III.2.1 - Inspection visuelle de l'ouvrage	9
III.2.2 - Diagnostic Matériau des bétons armés	9
III.3 - CONDITIONS D'INTERVENTION	9
IV - RESULTATS DE L'INSPECTION VISUELLE DE L'OUVRAGE	10
V - RESULTATS DU DIAGNOSTIC MATERIAU DES BETONS ARMES ET DES ARMATURES	13
V.1 - DESCRIPTION DES INVESTIGATIONS REALISEES SUR SITE ET EN LABORATOIRE	13
V.1.1 - Essais sur site	13
V.1.2 - Essais en laboratoire – Description des prélèvements et répartition des essais en laboratoire	14
V.2 - PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES DES BETONS	15
V.2.1 - Détermination de la masse volumique apparente et de la porosité accessible à l'eau des bétons	15
V.2.2 - Dosage en ions sulfates solubles (hydrosolubles) des bétons	16
V.3 - ETATS ELECTROCHIMIQUES DES ARMATURES ET RISQUES DE CORROSION ASSOCIES	17
V.3.1 - Démarche d'interprétation adoptée	17
V.3.2 - Voile extérieur Sud du bassin – Zone de diagnostic Z1	20
V.3.3 - Voile extérieur Est du bassin – Zone de diagnostic Z2	24
V.3.4 - Poteau – Zone de diagnostic Z3	28
V.3.5 - Sous-face du bassin – Zone de diagnostic Z4	33
V.3.6 - Conclusions sur l'état électrochimique des armatures et le risque de corrosion associé	37
VI - SYNTHESE DES RESULTATS	38
VI.1 - AVIS SUR L'ETAT DE CONSERVATION DE L'OUVRAGE	38
VI.2 - AVIS SUR LA DURABILITE DES MATERIAUX VIS-A-VIS DE LA CORROSION	38
VII - PROPOSITIONS SUR LES ACTIONS A ENTREPRENDRE	40
VII.1 - INVESTIGATIONS COMPLEMENTAIRES	40
VII.1.1 - Vérification de la précontrainte	40
VII.1.2 - Vérification des joints de fractionnement	40
VII.1.3 - Contrôle des affouillements	40
VII.2 - PROPOSITION DE TRAVAUX	40
VII.1.4 - Remplacement des appuis en néoprène	40
VII.1.5 - Purge des épaisseurs de béton polluées par les ions chlorures et par la carbonatation	41
VII.1.6 - Traitement adapté des armatures dégagées par l'opération de purge des bétons	41
VII.1.7 - Reconstitution des sections de béton purgées au béton projeté ou au béton coulé en place	41
VII.1.8 - Traitement adapté des désordres imputables au phénomène de corrosion des armatures	41
VII.1.9 - Traitement des zones de ségrégation	42
VII.1.10 - Protection contre la pénétration d'agents agressifs depuis l'extérieur	42

I - INTRODUCTION

I.1 - Contexte et objet de la mission

La DEFENSE ENVIRONNEMENT SERVICE, du groupe VEOLIA, gèrent plusieurs ouvrages du Génie Civil de l'Eau pour le compte de la défense. Dans le cadre de la gestion de son patrimoine, la DES souhaite connaître l'état de conservation de la structure et des matériaux de la piscine de l'académie militaire de Saint-Cyr Coëtquidan, à Guer (56).

Le but du diagnostic est d'établir un état de la conservation de l'ouvrage et de définir, si pertinents, les travaux de réparation adaptés aux désordres et aux pathologies constatés. Des propositions de travaux de réhabilitation seront fournies.

A cette fin, la société Sixense Engineering a été missionnée pour établir le diagnostic du Génie Civil, avec les solutions de réparations envisageables.

Une prévisite sur site a été effectuée le mardi 25 mai 2021 par Samuel NAAR, Sixense Engineering, accompagné de François MEAULT, DES.

Le programme d'investigation suivant a été retenu :

- étude du dossier d'ouvrage,
- rapport synthétisant les résultats du diagnostic du Génie Civil,
- préconisations de solutions de réparations adaptées aux désordres et pathologies constatés.

I.2 - Présentation du rapport

Le présent rapport est rédigé à l'issue de l'intervention terrain et des essais en laboratoire. Il comprend :

- la présentation des **résultats de l'inspection visuelle de l'ouvrage** et l'analyse des désordres observés,
- la présentation et l'analyse des **résultats du diagnostic Matériau des bétons armés** afin de préciser les caractéristiques des pathologies suspectées,
- la proposition de **solutions techniques de réparation** adaptées aux désordres constatés,

L'annexe 1 rassemble les planches techniques d'inspection et de localisation.

L'annexe 2 regroupe les clichés photographiques pris lors de l'intervention sur site.

L'annexe 3 rassemble les enregistrements pachométriques.

L'annexe 4 présente la méthodologie des essais réalisés sur site et en laboratoire.

II - PRESENTATION DE L'OUVRAGE

II.1 - Situation géographique

La piscine se situe sur le site de l'académie militaire de Saint-Cyr Coëtquidan, Avenue du Maréchal Foch, sur la commune de Guer (56).

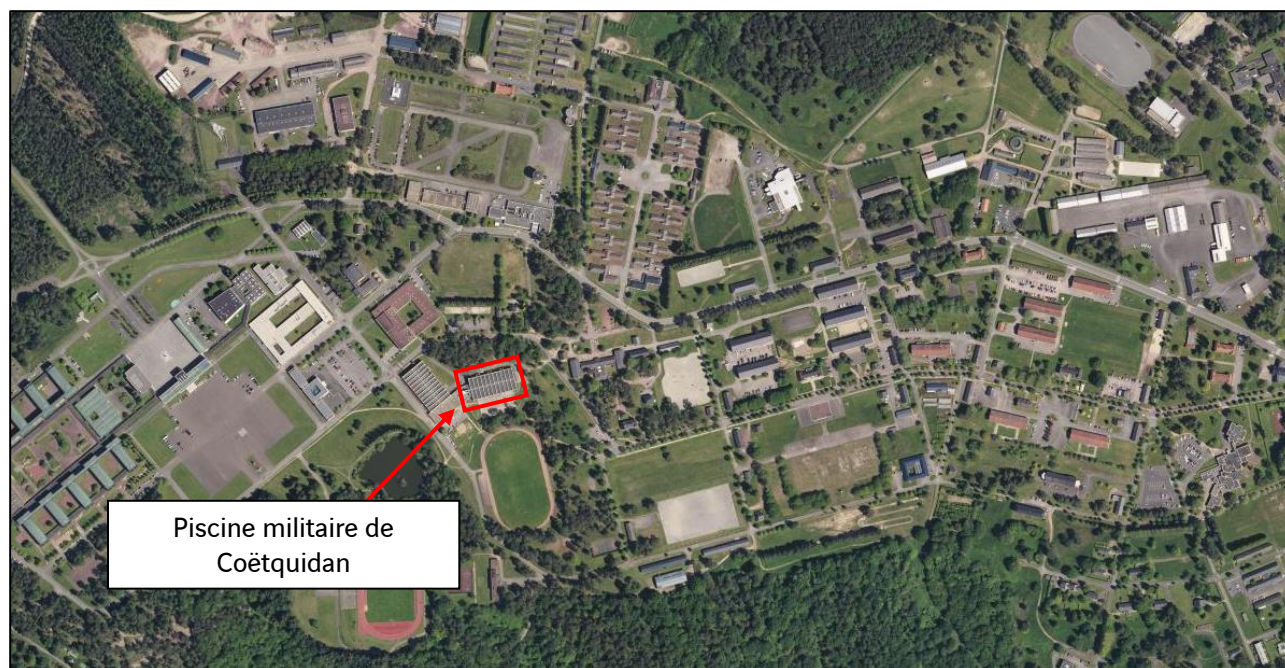
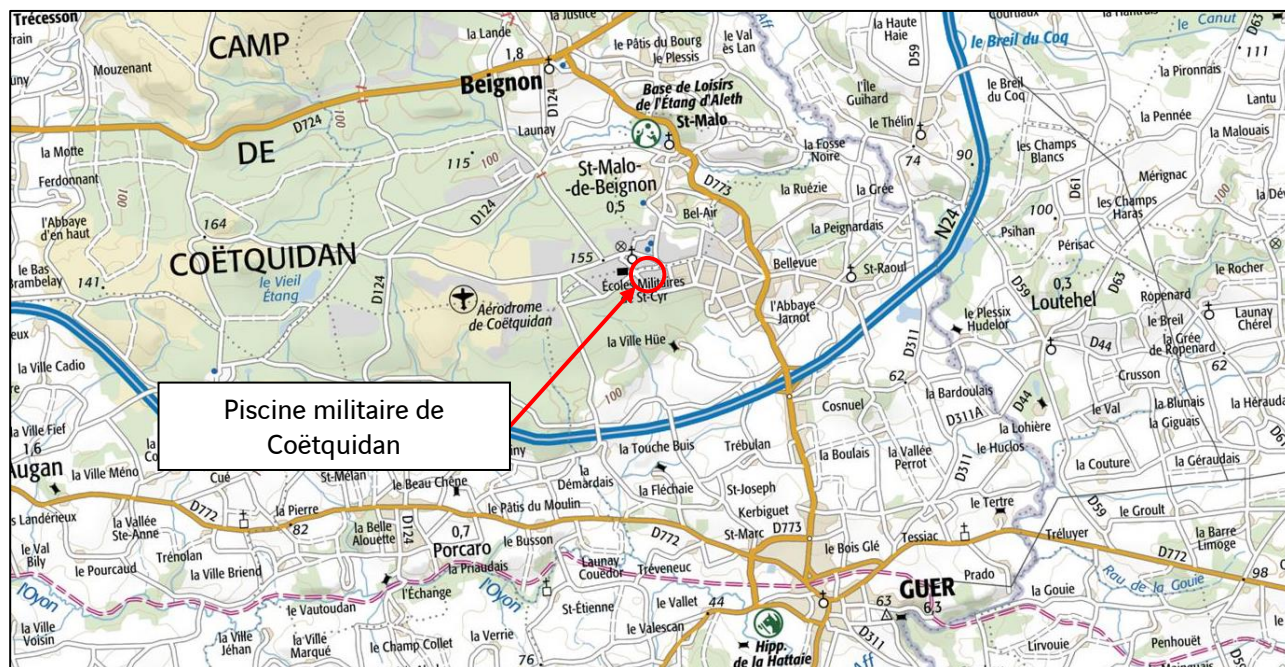


Figure 1: Implantation et vue aérienne de l'ouvrage (disponible sur <http://geoportail.gouv.fr>)

II.2 - Dossier d'ouvrage et historique des travaux

II.1.1 - Dossier d'ouvrage

Le Maître d'Ouvrage a fourni de nombreux documents issus du Dossier d'Ouvrage en amont de l'intervention :

- diverses notes de calcul géotechnique, datant de 1966,
- plusieurs plans datant de la mise en conformité du régime hydraulique de la piscine, datant de 1993,
- divers plans de la rénovation de la piscine datant de 2001,
- un avis technique sur l'état de la piscine, réalisé par le Service d'Infrastructure de la Défense en 2013.

Deux plans nous intéressent particulièrement :

- les coupes longitudinale et transversale du bâtiment, datant de février 2001,
- l'élévation et les vues en plan du ferrailage, datant de mars 1993.

Par contre, nous ne disposons d'aucune information au niveau de :

- la construction (date de construction, ...),
- la composition des bétons (nature, origine et dosage du ciment, nature et origine des granulats, ...),
- des conditions de fabrication (période de bétonnage, incidents de bétonnages, ...).

Toutefois, d'après les vues aériennes historiques, il semblerait que piscine ait été construite entre 1960 et 1968.

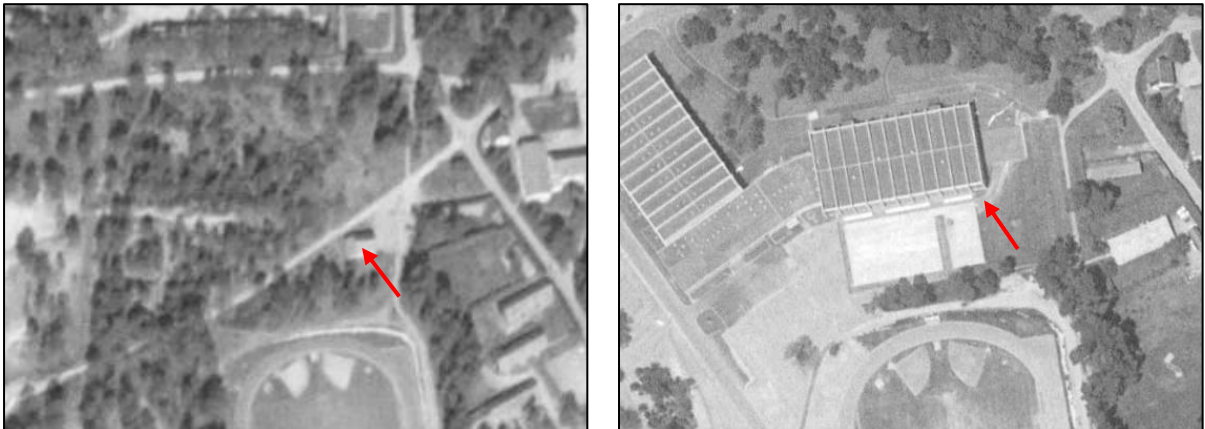


Figure 2: Vues aériennes historiques de mars 1960 – à gauche – et de juillet 1968 – à droite (disponible sur <http://remonterletemps.ign.fr>)

II.1.2 - Historique des réparations

D'après les informations fournies par le Maître d'Ouvrage, le carrelage de la piscine a été en partie renouvelé juste avant l'intervention. Nous ne disposons d'aucune autre information concernant les travaux de réhabilitation antérieurs dont l'ouvrage aurait pu faire l'objet.

II.3 - Caractéristiques de l'ouvrage

Plusieurs plans, dessinés à partir des cotes prises sur site ou à défaut déduites des plans fournis, sont présentés en annexe 1.

Le bassin mesure 45 x 20 m. Il est soutenu par 60 appuis, poteaux en béton armé chacun équipé d'appareil d'appui en néoprène, vraisemblablement frettés.

Les parties situées en extrados (bassin, plages, ...) sont carrelées, alors que les parties situées en intrados au niveau du local inférieur (bassin, poteaux, ...) ne sont pas protégées (en béton brut de décoffrage).

Contrairement aux suppositions faites lors de la rédaction de l'offre, le bassin est en béton précontraint et non en béton armé. L'étude du dossier d'ouvrage et les investigations sur site ont mis en évidence la présence de gaine de précontrainte dans les voiles périphériques de la piscine et en sous-face du bassin.

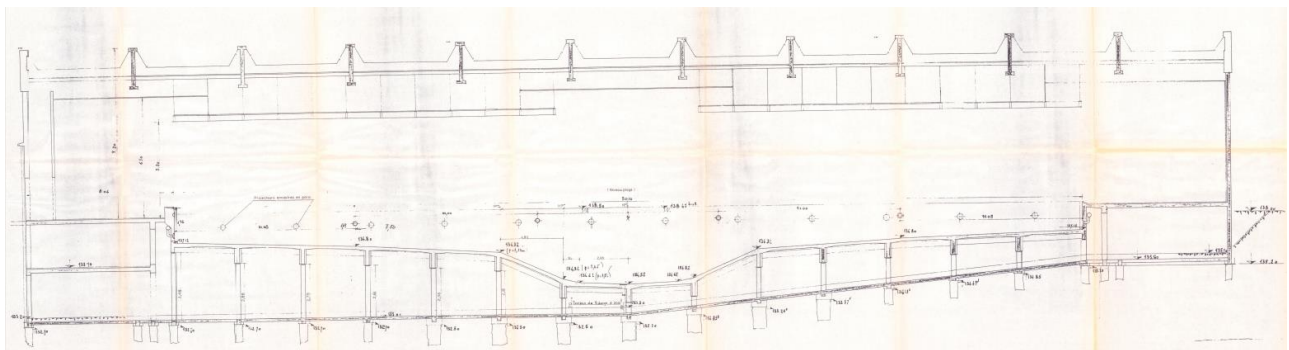


Figure 3: Coupe longitudinale de l'ouvrage

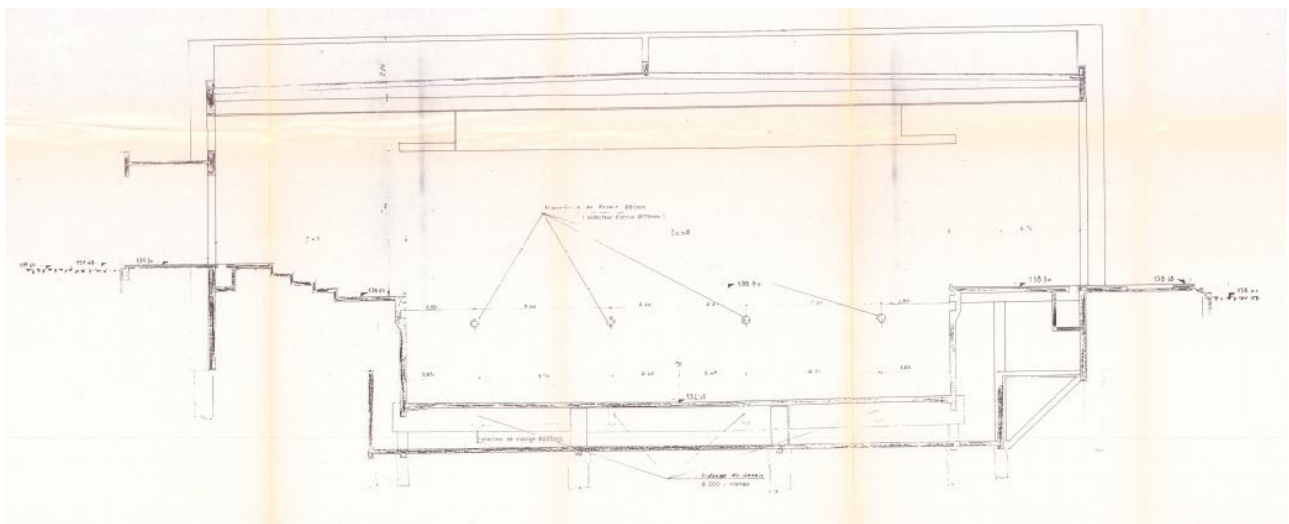


Figure 4: Coupe transversale de l'ouvrage



Figure 5: Zoom sur les ancrages de précontrainte du voile périphérique longitudinal

III - PRESENTATION DE LA MISSION

III.1 - Personnel

L'intervention sur site a été réalisée du 10 au 13 août 2021 par une équipe Sixense Engineering, constituée de Tessa GUITTON, Chargée d'Etudes et de Tanguy GUERIN, Techniciens Supérieur.

III.2 - Programme d'intervention

Le programme d'intervention a été le suivant :

- une inspection visuelle de l'ouvrage,
- un diagnostic Matériau des bétons armés de l'ouvrage.

III.2.1 - Inspection visuelle de l'ouvrage

Une inspection visuelle du Génie Civil et des équipements de l'ouvrage a été menée.

III.2.2 - Diagnostic Matériau des bétons armés

Le diagnostic Matériau des bétons armés comprend :

- des essais sur site par :
 - des sondages destructifs permettant de déterminer les caractéristiques des armatures dégagées (reconnaissance du ferrailage : diamètre, nature et état de corrosion) : 4 unités,
 - des mesures de l'enrobage des armatures à l'aide d'un pachomètre : 4 zones,
 - des mesures électrochimiques de potentiel d'électrode (par rapport à une électrode de référence Cu/CuSO₄) des armatures : 4 zones,
 - un sondage destructif permettant de réaliser une autopsie visuelle de l'état et du faciès de corrosion des armatures dégagées en zone anodique : 1 unité.
- des analyses en laboratoire, sur des prélèvements de béton réalisés à la carotteuse et/ou à la disqueuse :
 - des déterminations de la masse volumique apparente et de la porosité accessible à l'eau des bétons : 4 unités,
 - des mesures du front de carbonatation de la pâte de ciment des bétons : 4 unités,
 - des dosages en ions chlorure libres et sulfates solubles des bétons : 3 x 4 unités (3 profondeurs par prélèvement),
 - des dosages en ions chlorure totaux des bétons : 4 unités,
 - des mesures du pH des bétons : 4 unités.

III.3 - Conditions d'intervention

L'accès aux différentes zones de l'ouvrage s'est fait à pied et en utilisant les moyens d'accès existants et à l'aide d'une plateforme individuelle roulante légère (PIRL) d'une hauteur de travail maximale de 3,65 m.

Les conditions météorologiques lors de notre intervention étaient les suivantes : partiellement couvert à ensoleillé, températures extérieures comprises entre 15 et 27°C.

IV - RESULTATS DE L'INSPECTION VISUELLE DE L'OUVRAGE

Les tableaux ci-après reprennent les types de désordres observés. Les photographies correspondantes sont regroupées en [annexe 2](#).

Les appuis en néoprène sont numérotés de A à D, de Nord au Sud et de 1 à 15 de l'Est à l'Ouest.

Tableau 1: Génie civil du bassin

Désignation	Caractéristiques	Constations / commentaires	Photo n°
Sous-face de bassin	En béton précontraint non revêtu	Nombreuses zones de ségrégation avec des vides, 4 zones laissent apparaître les gaines de précontrainte avec le feuillard corrodé, 1 ancrage de précontrainte et 6 zones aciers corrodés Quelques zones laissent apparaître le spectre des armatures Quelques efflorescences et stalactites ainsi que des zones d'humidité indiquent des infiltrations Les ligatures sont localement apparentes	2 à 7
Poutres	En béton armé non revêtu	5 fissures verticales d'ouverture 0,1 ou 0,2 mm dont 3 sont traversantes, sans risque de fuite Nombreuses zones de ségrégation laissant apparaître des aciers corrodés avec légère pertes de diamètre De nombreuses ligatures sont apparentes En sous-face de poutre, 1 zone avec 10 cadres apparents corrodés et perte de diamètre Quelques efflorescences et quelques ragréages	8 à 12
Voiles extérieurs du bassin	En béton précontraint non revêtu	Voile Ouest non visible, stalactites et coulures actives en sous-face Nombreux éléments métalliques corrodés (anciennes fixation et têtes d'ancrage) Coulures depuis le haut des voiles (laitance), reprises de bétonnage visibles et ségrégation Quelques ligatures apparentes et des aciers apparents Quelques coulures noires et coulures d'oxyde Des efflorescences indiquent des infiltrations Reste de coffrage sur les têtes de poutre	13 à 18
Poteaux support du bassin	En béton armé non revêtu	Nombreux éclats de béton, notamment en coin des têtes Quelques aciers apparents corrodés, localement avec des pertes de diamètres Quelques amorces d'éclat de béton	19 à 22
Poteaux support du plancher de la piscine	En béton armé non revêtu	Zones de ségrégation Aciers apparents corrodés en pied de poteau avec pertes de diamètres Zones de ségrégation	23 et 24
Radier du local sous le bassin	En béton armé non revêtu	Atterrissements importants sous la fosse masquant le radier Zones d'humidité Nombreuses fissures	25 à 27
Sous-face de plancher et de gradins	Recouvert de mousse isolante	Bon état général	28

Désignation	Caractéristiques	Constatations / commentaires	Photo n°
Voiles extérieurs du local sous la piscine	En béton armé non revêtu	Quelques coulures et venues d'eau Quelques aciers apparents corrodés Ségrégation	29 à 31
Extrados de la piscine	Carrelage	Bon état général du carrelage : quelques petits éclats de carrelages, légers disjointements, fissurations des carreaux, 1 trace orange 1 fracture à mi-longueur de la piscine, du bord de la piscine jusqu'au gradins	32 à 38

Tableau 2: Appuis en néoprène

Appui	Constatations	Appui	Constatations	Appui	Constatations	Appui	Constatations
A1	Boudinage - HT = 25 mm Dist. 5 mm ▶	B1	Boudinage - 25 mm Dist. 5 mm ▼	C1	Boudinage - 27 mm Dist. 5 mm ▼	D1	Boudinage - 15 mm Dist. 2 mm ◀
A2	Boudinage - 17 mm Dist. 3 mm ◀	B2	Boudinage - 20 mm Dist. 4 mm ▼	C2	Boudinage - 26 mm Dist. 4 mm ▼	D2	Boudinage - 13 mm Peu visible (sable)
A3	Boudinage - 19 mm Dist. 2 mm ◀	B3	Boudinage - 20 mm Dist. 3 mm ▼	C3	Boudinage - 18 mm Dist. 2 mm ▼	D3	Boudinage - 24 mm
A4	Boudinage - 22 mm Dist. 2 mm ◀	B4	Boudinage - 10 mm	C4	Boudinage - 10 mm Dist. 1 mm ▼	D4	Boudinage - 22 mm Dist. 1 mm ▼
A5	Boudinage - 17 mm	B5	Boudinage - 14 mm	C5	Boudinage - 15 mm	D5	Boudinage - 20 mm
A6	Boudinage - 6 mm	B6	Boudinage - 8 mm	C6	Boudinage - 16 mm	D6	Boudinage - 4 mm
A7	Non visible (écrasé)	B7	Non visible (écrasé)	C7	Non visible (écrasé)	D7	Non visible (écrasé)
A8	Boudinage - 4 mm	B8	Non visible (écrasé)	C8	Non visible (écrasé)	D8	Non visible (sable)
A9	Boudinage - 27 mm Dist. 2 mm ▶	B9	50 mm	C9	50 mm	D9	Boudinage Dist. 2 mm ◀
A10	Boudinage - 4 mm	B10	Boudinage - 10 mm	C10	Boudinage - 10 mm	D10	Boudinage - 10 mm Peu visible
A11	Boudinage - 17 mm	B11	Boudinage - 8 mm	C11	Boudinage - 10 mm Dist. 1 mm ▲	D11	Inaccessible
A12	Boudinage - 15 mm	B12	Boudinage - 10 mm	C12	Boudinage - 10 mm Dist. 1 mm ▲	D12	Inaccessible
A13	Boudinage - 13 mm Dist. 2 mm ▶	B13	Boudinage - 17 mm	C13	Boudinage - 10 mm	D13	Inaccessible
A14	Boudinage - 10 mm	B14	Boudinage - 22 mm	C14	Boudinage - 20 mm	D14	Inaccessible
A15	Boudinage - 15 mm Peu visible (sable)	B15	Boudinage - 15 mm Peu visible (sable)	C15	Inaccessible	D15	Inaccessible
Photo	n°39 à 42						

Dist: distorsion; *Ht*: Hauteur

→ Synthèse : les désordres relevés mettent en évidence des défauts de mises en œuvre, notamment des défauts de vibration du béton et d'enrobage : nombreuses zones de ségrégation, aciers apparents, gaines de précontrainte et têtes d'ancrage apparentes...

Par ailleurs, de nombreuses efflorescences ont été relevées, des stalactites et des coulures d'eau actives. Cela indique des fuites depuis le bassin.

Au niveau structurel, quelques fissures verticales ont été relevée au niveau des poutres et une fracture perpendiculaire au bassin a été relevée à mi-longueur de la piscine en extrados, allant jusqu'aux gradins.

Les appuis sont boudinés de façon généralisée, en revanche, aucune trace d'oxydation des frettes, ni de gerçures ne sont visibles. Des distorsions ont été relevées sur plusieurs appuis et tendent à mettre en évidence des déplacements du bassin vers son centre (fosse), possiblement présents depuis la construction (retrait des béton, mise en précontrainte du bassin).

Il y a un risque structurel à moyen terme, lié à des désordres non négligeables : gaines de précontrainte apparentes, appareil d'appui localement très dégradés (écrasés), pertes de section des armatures...

V - RESULTATS DU DIAGNOSTIC MATERIAU DES BETONS ARMES ET DES ARMATURES

V.1 - Description des investigations réalisées sur site et en laboratoire

V.1.1 - Essais sur site

Le Tableau 3 synthétise les investigations réalisées sur site. Les photographies correspondantes sont regroupées dans l'annexe 2.

Tableau 3: Description des investigations réalisées et répartition des prélèvements de béton

Zone	Localisation	Investigations réalisées sur site	Echantillons prélevés	Photo n°
Z1	Voile extérieur Sud du bassin	Mesures d'enrobage des armatures Sondage destructif pour caractériser les armatures dégagées Mesures électrochimiques de potentiel d'électrode (par rapport à une électrode de référence Cu/CuSO ₄)	C1-1 C1-2	43
Z2	Voile extérieur Est du bassin		C2-1 C2-2	44
Z3	Poteau	Mesures d'enrobage des armatures Sondage destructif pour caractériser les armatures dégagées Mesures électrochimiques de potentiel d'électrode (par rapport à une électrode de référence Cu/CuSO ₄) Autopsie visuelle de l'état et du faciès de corrosion des armatures dégagées en zone anodique (de corrosion)	C3-1 C3-2	45
Z4	Sous-face du bassin	Mesures d'enrobage des armatures Sondage destructif pour caractériser les armatures dégagées Mesures électrochimiques de potentiel d'électrode (par rapport à une électrode de référence Cu/CuSO ₄)	C4-1 C4-2	46

V.1.2 - Essais en laboratoire – Description des prélèvements et répartition des essais en laboratoire

Le programme des essais en laboratoire sur les échantillons de bétons prélevés est présenté dans le Tableau 4. Les photographies correspondantes sont regroupées en [annexe 2](#).

Tableau 4: Programme d'essais en laboratoire

Zone	Localisation	Echantillon	Dimensions échantillon L (mm) x Pr. (mm)	Analyses en laboratoire					Photo n°
				D/P	Carbo	pH	Cl/S libres	Cl totaux	
Z1	Voile extérieur Sud du bassin	C1-1	60 x 65		1	1	3	1	47
		C1-2	60 x 90	1					48
Z2	Voile extérieur Est du bassin	C2-1	85 x 125	1					48
		C2-2	85 x 75		1	1	3	1	50
Z3	Poteau	C3-1	85 x 85		1	1	3	1	51
		C3-2	85 x 120	1					52
Z4	Sous-face du bassin	C4-1	85 x 105	1					53
		C4-2	85 x 70		1	1	3	1	54
Total				4	4	4	12	4	

D/P: Déterminations de la masse volumique apparente et de la porosité accessible à l'eau des bétons; Carbo.: Mesures du front de carbonatation de la pâte de ciment des bétons; pH: mesure du pH des bétons; Cl/S libres: Dosages en ions chlorure libres et sulfates solubles des bétons; Cl totaux: Dosage en ions chlorure totaux des bétons.

V.2 - Propriétés physico-chimiques des bétons

V.2.1 - Détermination de la masse volumique apparente et de la porosité accessible à l'eau des bétons

La détermination de la masse volumique apparente et de la porosité accessible à l'eau des bétons a été réalisée conformément à la méthodologie présentée en [annexe 4](#).

Les résultats sont présentés dans le Tableau 5.

Tableau 5: Masse volumique apparente et porosité accessible à l'eau

Zone	Localisation	Echantillon	Profondeur d'analyse (mm)	Masse volumique apparente (kg.m ⁻³)	Porosité accessible à l'eau (%)
Z1	Voile extérieur Sud du bassin	C1-2	0 - 90	2325	11,2
Z2	Voile extérieur Est du bassin	C2-1	0 - 125	2363	9,1
Z3	Poteau	C3-2	0 - 120	2296	12,1
Z4	Sous-face du bassin	C4-1	0 - 90	2375	9,2
Moyenne				2340	10,4
Ecart-type				36	1,5
Maximum				2375	12,1
Minimum				2296	9,1

→ Synthèse : les bétons de la passerelle de l'ouvrage présentent

- des masses volumiques apparentes homogènes, variant de 2 296 à 2 375 kg.m⁻³, avec une valeur moyenne de 2 340 kg.m⁻³. Cette valeur est conforme aux exigences de la norme NF EN 206-1 (2 000 à 2 600 kg.m⁻³),
- des porosités accessibles à l'eau homogènes variant de 9,1 à 12,1%, avec une moyenne de 10,4%. Ces valeurs sont légèrement inférieure ou dans l'intervalle des valeurs communément admises pour un béton standard d'ouvrage du Génie Civil, qui sont de l'ordre de 11 à 13 %, ce qui indique une bonne qualité des bétons vis-à-vis de la durabilité des armatures.

V.2.2 - Dosage en ions sulfates solubles (hydrosolubles) des bétons

Le dosage en ions sulfates solubles des bétons a été réalisé conformément à la méthodologie présentée en annexe 4.

Les résultats des analyses chimiques sont présentés dans le Tableau 6.

Tableau 6: Dosage en ions sulfates solubles

Zone	Localisation	Echantillon	Prof. (mm)	Teneur en ions sulfates solubles % masse béton
Z1	Voile extérieur Sud du bassin	C1-1	0 - 10	0,196
			15 - 25	0,399
			30 - 40	0,372
Z2	Voile extérieur Est du bassin	C2-2	0 - 10	0,480
			10 - 20	0,337
			20 - 30	0,361
Z3	Poteau	C3-1	0 - 10	0,331
			10 - 20	0,270
			20 - 30	0,209
Z4	Sous-face du bassin	C4-2	0 - 10	0,232
			10 - 20	0,283
			20 - 30	0,237

Nota pour l'analyse des chlorures et des sulfates : limite de détection = 0,005 % poids béton ; erreur sur la mesure < 2 % ; les sulfates sont donnés sous la forme SO_4^{2-} .

→ Synthèse : Les profils sont variables :

- le voile extérieur Sud met en évidence un lessivage en peau et des valeurs en cœur plutôt constante,
- le voile extérieur Est présente un enrichissement en peau,
- les teneurs sur le poteau mettent en évidence une pollution exogène,
- les valeurs sur la sous-face du bassin sont constantes, il ne semble pas y avoir de pollution par les ions sulfates libres.

V.3 - Etats électrochimiques des armatures et risques de corrosion associés

V.3.1 - Démarche d'interprétation adoptée

Les résultats du diagnostic Matériau des bétons armés et des armatures sont présentés par zone de diagnostic, suivant le plan suivant :

1- Caractéristiques des armatures dégagées :

Les sondages destructifs permettent de relever les caractéristiques des armatures dégagées en place dans la structure (reconnaissance du ferrailage : diamètre, nature et état de corrosion).

De plus, les sondages destructifs permettent de se connecter électriquement au réseau d'armatures pour la réalisation des mesures électrochimiques de potentiel d'électrode (par rapport à une électrode de référence Cu/CuSO₄) des armatures.

2- Mesures d'enrobage des armatures :

Les fiches de traitements des enregistrements pachométriques permettent d'obtenir les enrobages des armatures sont rassemblées dans l'[annexe 3](#).

Les résultats des mesures de l'enrobage des armatures sont présentés dans des tableaux, où pour l'ensemble des armatures, les tableaux indiquent pour chaque profil :

- le nombre total de détection d'armatures sur le profil,
- les valeurs d'enrobage minimal (Min.), maximal (Max.) et moyen (Moy.) détectées sur le profil, ainsi que l'écart-type standard associé (ET).

Les valeurs d'enrobage obtenues seront comparées aux prescriptions du texte en vigueur à l'époque de la construction des différents ouvrages.

Compte-tenu de l'année de mise en service de l'ouvrage, entre 1960 et 1968, les textes pouvant être en vigueur préconisent : « *En milieu non agressif, la distance libre entre toute génératrice extérieure d'une armature quelconque et la paroi de coffrage la plus voisine sera au moins égale à 2 cm pour les parements exposés aux intempéries ou susceptibles de l'être, aux condensations ou, eu égard à la destination des ouvrages, au contact d'un liquide (réservoirs, tuyaux, canalisations, etc.).* » :

- BA 60 : Texte DTU couvrant le domaine du Bâtiment et traitant de la conception et de l'exécution

3- Mesures du front de carbonatation de la pâte de ciment des bétons :

Les mesures du front de carbonatation de la pâte de ciment des bétons ont été réalisées conformément à la norme NF EN 14630, où les profondeurs de carbonatation sont mesurées en cinq points répartis sur l'échantillon, les profondeurs de carbonatation moyennes sont déterminées en faisant la moyenne des cinq essais.

4- Mesure du pH des bétons :

Les mesures de pH des bétons ont été réalisés conformément à la procédure interne Sixense Engineering.

Les valeurs de pH obtenues seront comparées à la valeur pH attendue pour un béton standard. Le pH d'un béton standard est de l'ordre de 12,3 à 12,5 (valeurs indicatives).

5- Dosages en ions chlorure libres (hydrosolubles) des bétons :

Les dosages en ions chlorure libres des bétons ont été réalisés selon les recommandations du GranDuBé (2007). Les teneurs en ions chlorure libres sont calculées en % par rapport à la masse de béton.

Une teneur en ions chlorure libres supérieure à la valeur d'alerte est considérée comme suffisante pour initier le phénomène de corrosion des armatures.

Pour un béton précontraint, la valeur d'alerte généralement retenue est de 0,03 % par rapport à la masse d'un béton « standard » dosé à 350 kg.m⁻³ de ciment, pour un béton sec et non carbonaté. Cette valeur d'alerte est définie pour l'utilisation d'un ciment de type CEM I ou CEM II dans la formulation du béton.

6- Dosages en ions chlorure totaux (acido-solubles) des bétons :

Les dosages en ions chlorure totaux des bétons ont été réalisés conformément aux recommandations du GranDuBé de 2007.

Les teneurs en ions chlorure totaux sont calculées en % par rapport à la masse de béton.

Le référentiel normatif en vigueur (norme NF EN 206-1, norme NF EN 1504, norme NF EN 14629, ...) indique que pour un béton contenant des armatures de précontrainte en acier la teneur maximale en ions chlorure totaux rapportée à la masse de ciment est de 0,20 % pour des ciments de type CEM I et CEM II.

Ces valeurs seuils sont exprimées en % par rapport à la masse de ciment contenu dans le béton. Sans informations sur la formulation du béton, les teneurs en ions chlorure totaux n'ont pas pu être directement comparées aux valeurs seuils prescrites dans le référentiel normatif.

Néanmoins, les teneurs en ions chlorure totaux ont été exprimées en % par rapport à la masse de ciment en prenant en compte une masse volumique de 2 340 kg.m⁻³ (moyenne des mesures réalisées précédemment) et plusieurs dosages en ciment du béton généralement utilisés (de 300 à 500 kg.m⁻³ par pas de 50 kg.m⁻³), afin d'avoir une vision qualitative de la pollution du béton par les ions chlorure totaux. Si les teneurs en ions chlorure totaux exprimées en % par rapport à la masse de ciment suivant les différents dosages en ciment du béton utilisés sont, en considérant l'utilisation d'un ciment de type CEM I ou CEM II dans la formulation du béton :

- toutes supérieures aux valeurs seuils du référentiel normatif, il sera considéré que les bétons sont pollués par les ions chlorures,
- toutes inférieures aux valeurs seuils du référentiel normatif, il sera considéré que les bétons ne sont pas pollués par les ions chlorures,
- pour certaines supérieures et pour les restantes inférieures aux valeurs seuils du référentiel normatif, des essais complémentaires en laboratoire de l'estimation du dosage en liant hydraulique (ciment) des bétons seront nécessaires pour statuer sur la pollution des bétons par les ions chlorures.

7- Mesures électrochimiques de potentiel d'électrode (par rapport à une électrode de référence Cu/CuSO₄) des armatures :

Les mesures de potentiels d'électrode des armatures sont réalisées selon la recommandation de la RILEM TC 154-EMC (voir ci-après), et sont interprétées, conformément à la méthodologie présentée en [annexe 4](#), selon les dernières directives et conclusions :

- de la recommandation de la RILEM TC 154-EMC (*International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures*) : Half-cell potential measurements – Potential mapping on reinforced concrete structure,
- de l'action de recherche Européenne COST 509 (*European Cooperated in the field of Scientific and Technical Research*) : Corrosion and protection of metals in contact with concrete – Final report.

8- Autopsie visuelle de l'état et du faciès de corrosion des armatures dégagées en zone anodique (si nécessaire):

Quand il y a lieu, sur la base des mesures électrochimiques de potentiel d'électrode (par rapport à une électrode de référence Cu/CuSO₄) des armatures, des sondages destructifs sont réalisés dans les zones anodiques (zones symptomatiques d'une activité de corrosion) identifiées directement sur site. A partir des sondages destructifs, des autopsies visuelles permettent de vérifier les états et les faciès de corrosion des armatures, les caractéristiques des armatures dégagées en place dans la structure (reconnaissance du ferrailage: diamètre, nature, ...) sont également relevées.

Quand il y a lieu, les zones anodiques où les sondages destructifs ont été réalisés sont indiquées par un carré rouge ou violet sur les cartographies des potentiels d'électrode.

9- Conclusion sur l'état électrochimique des armatures et le risque de corrosion associé

Les conclusions sur l'état électrochimique des armatures et sur les risques de corrosion associés sont des évaluations de la probabilité de corrosion des armatures basées sur les analyses croisées des données acquises dans le cadre du diagnostic Matériau des bétons armés (objet des précédentes puces).

V.3.2 - Voile extérieur Sud du bassin – Zone de diagnostic Z1

1- Caractéristiques des armatures dégagées

Les caractéristiques des armatures dégagées sont indiquées dans le tableau suivant.

Tableau 7: Caractéristiques des armatures dégagées

Orientation	Nuance	Diamètre (mm)	Enrobage (mm)	Etat de corrosion	Photo
Verticale	TOR	24	34	Corrosion généralisée sans perte de diamètre ni piqûration	
Horizontale	TOR	10	60		

HA: haute adhérence; RL: rond lisse; TOR: haute adhérence écroui

→ Synthèse: les armatures dégagées présentent une corrosion généralisée. Aucune perte de diamètre et/ou de piqûration n'est observée.

2- Mesures d'enrobage des armatures

Les résultats des mesures de l'enrobage des armatures sont donnés dans le tableau suivant.

Tableau 8: Résultats des mesures de l'enrobage des armatures

Essai n°	Aciers repérés de la 1 ^{ère} nappe rencontrée	Long (m)	Nombre de détections d'armature	Enrobage (mm)			
				Min.	Max.	Moy.	ET
FQ225	Verticaux	2,4	24	31	49	36	4
FQ226							
FQ227	Horizontaux	3,3	38	24	52	44	6
FQ228							
FQ229							

Long: Longueur de l'enregistrement.

→ Synthèse: les enrobages des armatures sont supérieurs à la réglementation en vigueur à l'époque de la construction de l'ouvrage (2 cm).

3- Mesure du front de carbonatation de la pâte de ciment des bétons

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant. Les photographies correspondantes sont regroupées en annexe 2.

Tableau 9: Profondeurs de carbonatation de la pâte de ciment des bétons

Echantillon	Matériau	Profondeurs de carbonatation (mm)					Profondeur de carbonatation moyenne (mm)	Enrobage (mm)	
		2	6	3	5	2		Min.	Moy.
C1-1	Béton						4	24	36

→ Synthèse: le front de carbonatation n'a pas atteint les armatures les moins enrobées, ce qui n'induit pas de dépassement de celles-ci.

Il n'y a, à l'heure actuelle, pas de risque de corrosion des armatures vis-à-vis du phénomène de carbonatation des bétons.

4- Mesure du pH des bétons

Les résultats des analyses chimiques sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 10: pH de la pâte de ciment des bétons

Echantillon	Profondeur d'analyse (mm)	pH	Enrobage (mm)	
			Min.	Moy.
C1-1	30 - 40	12,7	24	36

→ Synthèse: au droit de l'enrobage moyen des armatures, les pH des bétons obtenus sont compris dans l'intervalle des valeurs attendues pour un béton standard. Le béton présente une bonne réserve d'alcalinité.

5- Dosage en ions chlorure libres (hydrosolubles) des bétons

Les résultats des analyses chimiques sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 11: Dosage en ions chlorure libres des bétons

Echantillon	Profondeur d'analyse (mm)	Teneur en ions chlorure libres (% masse béton)	Enrobage (mm)	
			Min.	Moy.
C1-1	0 - 10	0,013	24	36
	15 - 25	0,025		
	30 - 40	0,024		

Nota: pour le dosage des chlorures: limite de détection = 0,005 % masse béton; erreur sur la mesure < 2 %.

→ Synthèse: les teneurs en ions chlorures libres sont inférieures à la valeur d'alerte considérée comme critique sur les profondeurs testées, ce qui n'induit pas de dépassement des armatures, et par conséquent une absence de risque de corrosion des armatures vis-à-vis de la pollution du béton par les ions chlorure libres.

6- Dosage en ions chlorure totaux des bétons

Les résultats des analyses chimiques sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 12: Dosage en ions chlorure totaux des bétons

Echantillon	Profondeur d'analyse (mm)	Teneur en ions chlorure totaux (% masse béton)	Estimation de la teneur en ions chlorure totaux (% masse ciment)					Enrobage (mm)	
			Dosage en ciment théorique du béton (kg.m ⁻³)					Min.	Moy.
			300	350	400	450	500		
C1-1	30 - 40	0,029	0,23	0,19	0,17	0,15	0,14	24	36

Nota: pour le dosage des chlorures: limite de détection = 0,005 % masse béton; erreur sur la mesure < 2 %.

→ Synthèse: le béton est pollué par les ions chlorures au droit des armatures, les teneurs en ions chlorure totaux sont supérieures à la valeur d'alerte admise pour des ciments de type CEM I ou CEM II, pour un dosage théorique en béton de 300 kg.m⁻³, des investigations complémentaires permettraient de lever ce doute.

Lors du vieillissement et/ou de la dégradation de la pâte de ciment du béton des ions chlorure liés à la matrice cimentaire sont relâchés dans la solution interstitielle du béton. Ils deviennent des ions chlorure libres qui pourront contribuer au phénomène de corrosion sous-jacente des armatures. C'est pourquoi, le béton pollué par les ions chlorures n'offre pas un environnement propice à garantir une durabilité à long terme des armatures. Un risque de corrosion de l'ensemble des armatures vis-à-vis de la pollution du béton par les ions chlorures est à envisager à moyen terme.

7- Mesures électrochimiques de potentiel d'électrode (par rapport à une électrode de référence Cu/CuSO₄) des armatures

Les mesures électrochimiques de potentiel d'électrode (par rapport à une électrode de référence Cu/CuSO₄) des armatures ont été réalisées aux nœuds (croisements entre les armatures horizontales et verticales) avec un pas de mesure de l'ordre de 14 cm en vertical et de l'ordre de 9 cm en horizontal.

Le parement est en béton brut.

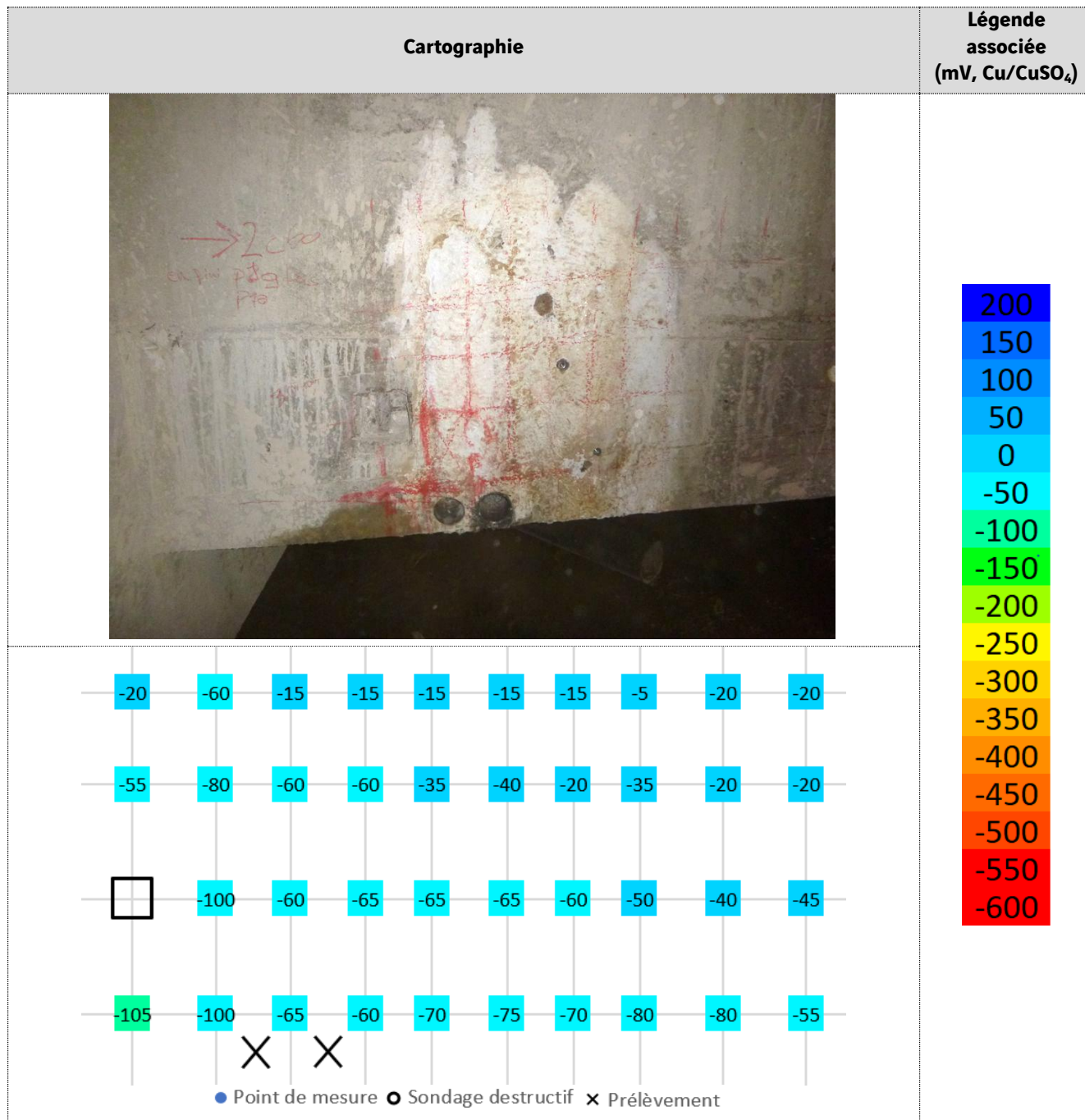
Les résultats des interprétations des mesures de potentiel d'électrode (par rapport à une électrode de référence Cu/CuSO₄) des armatures et la cartographie des potentiels d'électrode sont présentés dans les tableaux suivants.

Tableau 13: Résultats des mesures de potentiels d'électrode (par rapport à une électrode de référence Cu/CuSO₄) des armatures

RILEM TC 154-EMC		COST 509			
Environnement d'exposition	Gamme U _{corr} (mV, Cu/CuSO ₄)	Min. (mV)	Max. (mV)	ΔU (mV)	Risque de corrosion
Béton sec	0 à +200	-105	-5	100	Faible

ΔU: Différence de potentiel.

Tableau 14: Cartographie des potentiels d'électrode des armatures et légende associée



→ Synthèse: les valeurs de potentiel d'électrode (par rapport à une électrode de référence Cu/CuSO₄) sont inférieures à l'ordre des valeurs typiques liées à l'environnement d'exposition attendu pour un béton sec. La différence de potentiel indique un risque de corrosion faible ne mettant pas en évidence la présence de zones anodiques (zones symptomatiques d'une activité de corrosion) localisées.

Compte-tenu de l'état de dégradation des armatures dégagées et de l'absence de pollution au niveau des armatures, le phénomène de corrosion sous-jacente des armatures ne semble pas être initié.

Au niveau du voile périphérique Sud, les armatures semblent être dans un état électrochimique de passivité vis-à-vis du phénomène de corrosion.

V.3.3 - Voile extérieur Est du bassin – Zone de diagnostic Z2

1- Caractéristiques des armatures dégagées

Les caractéristiques des armatures dégagées sont indiquées dans le tableau suivant.

Tableau 15: Caractéristiques des armatures dégagées

Orientation	Nuance	Diamètre (mm)	Enrobage (mm)	Etat de corrosion	Photo
Verticale	TOR	8	23	Corrosion généralisée sans perte de diamètre ni piqûration	
Horizontale	TOR	8	35		

HA: haute adhérence; RL: rond lisse; TOR: haute adhérence écroui

→ Synthèse: les armatures dégagées présentent une corrosion généralisée. Aucune perte de diamètre et/ou de piqûration n'est observée.

2- Mesures d'enrobage des armatures

Les résultats des mesures de l'enrobage des armatures sont donnés dans le tableau suivant.

Tableau 16: Résultats des mesures de l'enrobage des armatures

Essai n°	Aciers repérés de la 1 ^{ère} nappe rencontrée	Long (m)	Nombre de détections d'armature	Enrobage (mm)			
				Min.	Max.	Moy.	ET
FQ220	Verticaux	3,5	19	17	44	25	7
FQ221							
FQ222	Horizontaux	2,5	18	24	53	34	7
FQ223							
FQ224							

Long: Longueur de l'enregistrement.

→ Synthèse: les enrobages moyens des armatures sont supérieurs à la réglementation en vigueur à l'époque de la construction de l'ouvrage (2 cm). En revanche, l'enrobage minimum des aciers verticaux est inférieur à cette valeur.

Environ 26% des armatures verticales présentent un enrobage inférieur à la réglementation.

3- Mesure du front de carbonatation de la pâte de ciment des bétons

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant. Les photographies correspondantes sont regroupées en annexe 2.

Tableau 17: Profondeurs de carbonatation de la pâte de ciment des bétons

Echantillon	Matériau	Profondeurs de carbonatation (mm)					Profondeur de carbonatation moyenne (mm)	Enrobage (mm)	
		3	2	10	12	2		Min.	Moy.
C2-2	Béton						6	17	25

→ Synthèse: le front de carbonatation n'a pas atteint les armatures les moins enrobées, ce qui n'induit pas de dépassement de celles-ci.

Il n'y a, à l'heure actuelle, pas de risque de corrosion des armatures vis-à-vis du phénomène de carbonatation des bétons.

4- Mesure du pH des bétons

Les résultats des analyses chimiques sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 18: pH de la pâte de ciment des bétons

Echantillon	Profondeur d'analyse (mm)	pH	Enrobage (mm)	
			Min.	Moy.
C2 - 2	20 - 30	12,7	17	25

→ Synthèse: au droit de l'enrobage moyen des armatures, les pH des bétons obtenus sont compris dans l'intervalle des valeurs attendues pour un béton standard. Le béton présente une bonne réserve d'alcalinité.

5- Dosage en ions chlorure libres (hydrosolubles) des bétons

Les résultats des analyses chimiques sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 19: Dosage en ions chlorure libres des bétons

Echantillon	Profondeur d'analyse (mm)	Teneur en ions chlorure libres (% masse béton)	Enrobage (mm)	
			Min.	Moy.
C2 - 2	0 - 10	0,084	17	25
	10 - 20	0,078		
	20 - 30	0,053		

Nota: pour le dosage des chlorures: limite de détection = 0,005 % masse béton; erreur sur la mesure < 2 %.

→ Synthèse: les teneurs en ions chlorures libres sont supérieures à la valeur d'alerte considérée comme critique sur les profondeurs testées, ce qui induit une dépassement des armatures, et par conséquent un **risque de corrosion des armatures vis-à-vis de la pollution du béton par les ions chlorure libres**.

6- Dosage en ions chlorure totaux (acido-solubles) des bétons

Les résultats des analyses chimiques sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 20: Dosage en ions chlorure totaux des bétons

Echantillon	Profondeur d'analyse (mm)	Teneur en ions chlorure totaux (% masse béton)	Estimation de la teneur en ions chlorure totaux (% masse ciment)					Enrobage (mm)	
			Dosage en ciment théorique du béton (kg.m ⁻³)					Min.	Moy.
			300	350	400	450	500		
C2 - 2	20 - 30	0,073	0,57	0,49	0,43	0,38	0,34	17	25

Nota: pour le dosage des chlorures: limite de détection = 0,005 % masse béton; erreur sur la mesure < 2 %.

→ Synthèse : le béton est pollué par les ions chlorures au droit des armatures, les teneurs en ions chlorure totaux sont supérieures à la valeur d'alerte admise pour des ciments de type CEM I ou CEM II, pour un dosage théorique en béton allant de 300 kg.m⁻³ à 500 kg.m⁻³.

Lors du vieillissement et/ou de la dégradation de la pâte de ciment du béton des ions chlorure liés à la matrice cimentaire sont relâchés dans la solution interstitielle du béton. Ils deviennent des ions chlorure libres qui pourront contribuer au phénomène de corrosion sous-jacente des armatures. C'est pourquoi, le béton pollué par les ions chlorures n'offre pas un environnement propice à garantir une durabilité à long terme des armatures.

Un risque de corrosion de l'ensemble des armatures vis-à-vis de la pollution du béton par les ions chlorures est à envisager à court terme.

7- Mesures électrochimiques de potentiel d'électrode (par rapport à une électrode de référence Cu/CuSO₄) des armatures

Les mesures électrochimiques de potentiel d'électrode (par rapport à une électrode de référence Cu/CuSO₄) des armatures ont été réalisées aux nœuds (croisements entre les armatures horizontales et verticales) avec un pas de mesure de l'ordre de 19 cm en vertical et de l'ordre de 21 cm en horizontal.

Le parement est en béton brut.

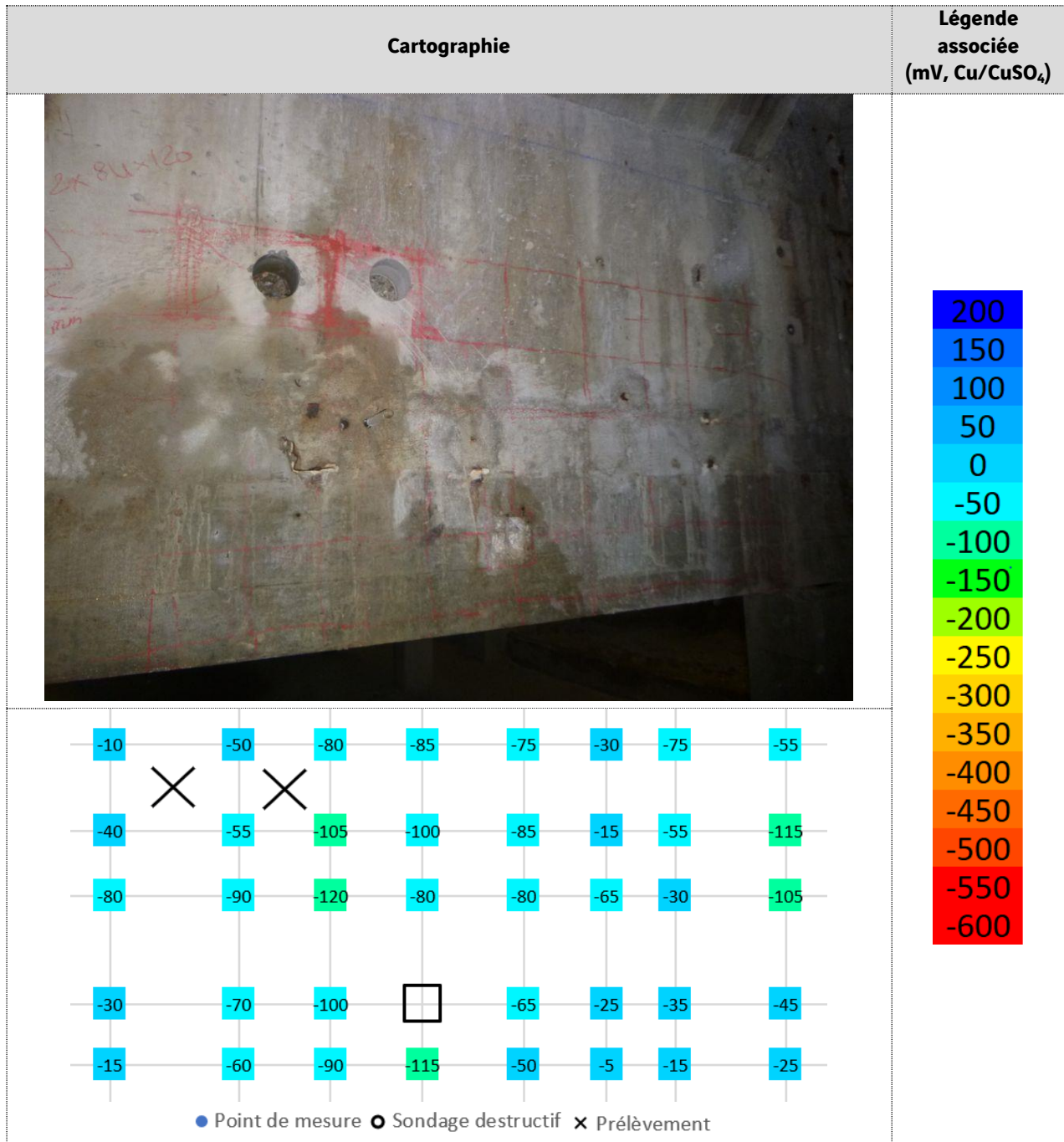
Les résultats des interprétations des mesures de potentiel d'électrode (par rapport à une électrode de référence Cu/CuSO₄) des armatures et la cartographie des potentiels d'électrode sont présentés dans les tableaux suivants.

Tableau 21: Résultats des mesures de potentiels d'électrode (par rapport à une électrode de référence Cu/CuSO₄) des armatures

RILEM TC 154-EMC		COST 509			
Environnement d'exposition	Gamme U _{corr} (mV, Cu/CuSO ₄)	Min. (mV)	Max. (mV)	ΔU (mV)	Risque de corrosion
Béton sec	0 à +200	-120	-5	115	Faible

ΔU: Différence de potentiel.

Tableau 22: Cartographie des potentiels d'électrode des armatures et légende associée



→ Synthèse: les valeurs de potentiel d'électrode (par rapport à une électrode de référence Cu/CuSO₄) sont inférieures à l'ordre des valeurs typiques liées à l'environnement d'exposition attendu pour un béton sec. La différence de potentiel indique un risque de corrosion faible ne mettant pas en évidence la présence de zones anodiques (zones symptomatiques d'une activité de corrosion) localisées.

Compte-tenu de l'état de dégradation des armatures dégagées et de la pollution au niveau des armatures, le phénomène de corrosion sous-jacente des armatures semble être initié de façon généralisée.

Au niveau du voile périphérique Est, les armatures semblent être dans un état électrochimique d'initiation vis-à-vis du phénomène de corrosion.

V.3.4 - Poteau – Zone de diagnostic Z3

1- Caractéristiques des armatures dégagées

Les caractéristiques des armatures dégagées sont indiquées dans le tableau suivant.

Tableau 23: Caractéristiques des armatures dégagées

Orientation	Nuance	Diamètre (mm)	Enrobage (mm)	Etat de corrosion	Photo
Verticale	TOR	16	45/42	Corrosion localisée sans perte de diamètre ni piqûration	
Horizontale	RL	6	35/32	Corrosion généralisée sans perte de diamètre ni piqûration	

HA: haute adhérence; RL: rond lisse; TOR: haute adhérence écroui

→ Synthèse: les armatures dégagées présentent une corrosion localisée ou généralisée. Aucune perte de diamètre et/ou de piqûration n'est observée.

2- Mesures d'enrobage des armatures

Les résultats des mesures de l'enrobage des armatures sont donnés dans le tableau suivant.

Tableau 24: Résultats des mesures de l'enrobage des armatures

Essai n°	Aciers repérés de la 1 ^{ère} nappe rencontrée	Long (m)	Nombre de détections d'armature	Enrobage (mm)			
				Min.	Max.	Moy.	ET
FQ214	Verticaux	2,2	13	23	40	31	5
FQ215							
FQ216							
FQ217	Horizontaux	3,4	25	10	35	26	8
FQ218							
FQ219							

Long: Longueur de l'enregistrement.

→ Synthèse: les enrobages moyens des armatures sont supérieurs à la réglementation en vigueur à l'époque de la construction de l'ouvrage (2 cm). En revanche, les enrobages minimums des armatures horizontales sont inférieurs à cette valeur.

Environ 24% des armatures horizontales présentent un enrobage inférieur à la réglementation.

3- Mesure du front de carbonatation de la pâte de ciment des bétons

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant. Les photographies correspondantes sont regroupées en annexe 2.

Tableau 25: Profondeurs de carbonatation de la pâte de ciment des bétons

Echantillon	Matériau	Profondeurs de carbonatation (mm)					Profondeur de carbonatation moyenne (mm)	Enrobage (mm)	
								Min.	Moy.
C3-1	Béton	23	21	21	13	11	18	10	26

→ Synthèse: le front de carbonatation a atteint les armatures les moins enrobées, ce qui induit une dépassement de celles-ci.

Environ 20% des armatures horizontales présentent un risque de corrosion vis-à-vis du phénomène de carbonatation des bétons.

4- Mesure du pH des bétons

Les résultats des analyses chimiques sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 26: pH de la pâte de ciment des bétons

Echantillon	Profondeur d'analyse (mm)	pH	Enrobage (mm)	
			Min.	Moy.
C3-1	20 - 30	12,6	10	26

→ Synthèse: au droit de l'enrobage moyen des armatures, les pH des bétons obtenus sont compris dans l'intervalle des valeurs attendues pour un béton standard. Le béton présente une bonne réserve d'alcalinité.

5- Dosage en ions chlorure libres (hydrosolubles) des bétons

Les résultats des analyses chimiques sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 27: Dosage en ions chlorure libres des bétons

Echantillon	Profondeur d'analyse (mm)	Teneur en ions chlorure libres (% masse béton)	Enrobage (mm)	
			Min.	Moy.
C3-1	0 - 10	0,014	10	26
	10 - 20	0,006		
	20 - 30	0,003		

Nota: pour le dosage des chlorures: limite de détection = 0,005 % masse béton; erreur sur la mesure < 2 %.

→ Synthèse: les teneurs en ions chlorures libres sont inférieures à la valeur d'alerte considérée comme critique sur les profondeurs testées, ce qui n'induit pas de dépassement des armatures, et par conséquent une absence risque de corrosion des armatures vis-à-vis de la pollution du béton par les ions chlorure libres.

6- Dosage en ions chlorure totaux (acido-solubles) des bétons

Les résultats des analyses chimiques sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 28: Dosage en ions chlorure totaux des bétons

Echantillon	Profondeur d'analyse (mm)	Teneur en ions chlorure totaux (% masse béton)	Estimation de la teneur en ions chlorure totaux (% masse ciment)					Enrobage (mm)	
			Dosage en ciment théorique du béton (kg.m ⁻³)					Min.	Moy.
			300	350	400	450	500		
C3-1	20 - 30	0,004	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	10	26

Nota: pour le dosage des chlorures: limite de détection = 0,005 % masse béton; erreur sur la mesure < 2 %.

→ Synthèse: au droit des armatures, les teneurs en ions chlorure totaux sont inférieures à la valeur d'alerte admise pour des ciments de type CEM I ou CEM II, et cela pour les cinq dosages en ciment théoriques du béton considérés.

Il n'y a pas de risque de corrosion des armatures vis-à-vis de la pollution du béton par les ions chlorure totaux.

7- Mesures électrochimiques de potentiel d'électrode (par rapport à une électrode de référence Cu/CuSO₄) des armatures

Les mesures électrochimiques de potentiel d'électrode (par rapport à une électrode de référence Cu/CuSO₄) des armatures ont été réalisées aux nœuds (croisements entre les armatures horizontales et verticales) avec un pas de mesure de l'ordre de 15 cm en vertical et de l'ordre de 18 cm en horizontal.

Le parement est en béton brut.

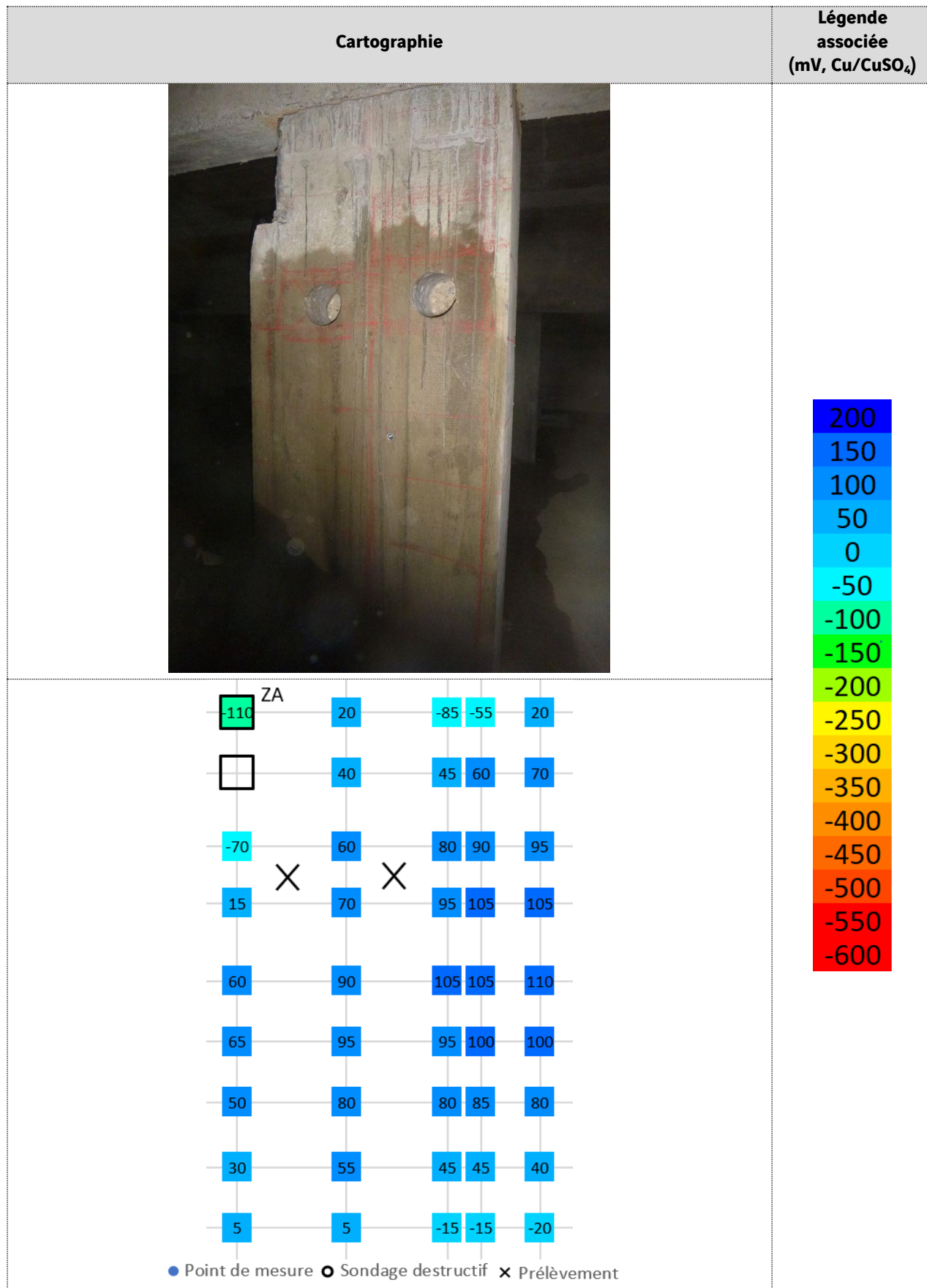
Les résultats des interprétations des mesures de potentiel d'électrode (par rapport à une électrode de référence Cu/CuSO₄) des armatures et la cartographie des potentiels d'électrode sont présentés dans les tableaux suivants.

Tableau 29: Résultats des mesures de potentiels d'électrode (par rapport à une électrode de référence Cu/CuSO₄) des armatures

RILEM TC 154-EMC		COST 509			
Environnement d'exposition	Gamme U _{corr} (mV, Cu/CuSO ₄)	Min. (mV)	Max. (mV)	ΔU (mV)	Risque de corrosion
Béton sec carbonaté	0 à +200	-110	110	220	Fort

ΔU: Différence de potentiel.

Tableau 30: Cartographie des potentiels d'électrode des armatures et légende associée



→ Synthèse: les valeurs de potentiel d'électrode (par rapport à une électrode de référence Cu/CuSO_4) sont de l'ordre des valeurs typiques liées à l'environnement d'exposition attendu pour un béton sec. La différence de potentiel indique un risque de corrosion fort, mettant en évidence la présence de zones anodiques (zones symptomatiques d'une activité de corrosion) localisées.

Compte-tenu de l'état de dégradation des armatures dégagées et de la pollution au niveau des armatures, le phénomène de corrosion sous-jacente des armatures semble être initié et amorcé au niveau des armatures les moins enrobées.

Au niveau du poteau, les armatures les moins enrobées semblent être dans un état électrochimique d'initiation vis-à-vis du phénomène de corrosion.

8- Autopsies visuelles de l'état et du faciès de corrosion des armatures dégagées en zone cathodique

Les caractéristiques des armatures dégagées en zone anodique sont indiquées dans le tableau suivant.

Tableau 31: Caractéristiques des armatures dégagées en zone anodique

Orientation	Nuance	Diamètre (mm)	Enrobage (mm)	Etat de corrosion	Photo
Verticale	TOR	16	46/47	Corrosion localisée sans perte de diamètre ni piqûration	
Horizontale	RL	6	38/37	Corrosion généralisée sans perte de diamètre ni piqûration	

HA: haute adhérence; RL: rond lisse; TOR: haute adhérence écroui

→ Synthèse: les armatures dégagées en zone cathodique anodique une corrosion localisée et généralisée. Aucune perte de diamètre et/ou de piqûration n'est observée.

V.3.5 - Sous-face du bassin – Zone de diagnostic Z4

1- Caractéristiques des armatures dégagées

Les caractéristiques des armatures dégagées sont indiquées dans le tableau suivant.

Tableau 32: Caractéristiques des armatures dégagées

Orientation	Nuance	Diamètre (mm)	Enrobage (mm)	Etat de corrosion	Photo
Longitudinale	RL (TS)	5	18	Corrosion généralisée sans perte de diamètre ni piqûration	
Transversale	RL (TS)	5	21		

HA: haute adhérence; RL: rond lisse; TOR: haute adhérence écroui

→ Synthèse: les armatures dégagées présentent une corrosion généralisée. Aucune perte de diamètre et/ou de piqûration n'est observée.

2- Mesures d'enrobage des armatures

Les résultats des mesures de l'enrobage des armatures sont donnés dans le tableau suivant.

Tableau 33: Résultats des mesures de l'enrobage des armatures

Essai n°	Aciers repérés de la 1 ^{ère} nappe rencontrée	Long (m)	Nombre de détections d'armature	Enrobage (mm)			
				Min.	Max.	Moy.	ET
FQ209	Transversaux	3,4	20	15	35	23	6
FQ210							
FQ211							
FQ212	Longitudinaux	4,9	27	10	39	24	8
FQ213							

Long: Longueur de l'enregistrement.

→ Synthèse: les enrobages moyens des armatures sont supérieurs à la réglementation en vigueur à l'époque de la construction de l'ouvrage (2 cm). En revanche, les enrobages minimums sont inférieurs à cette valeur.

Environ 35% des armatures transversales et 22% des armatures longitudinales présentent un enrobage inférieur à la réglementation.

3- Mesure du front de carbonatation de la pâte de ciment des bétons

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant. Les photographies correspondantes sont regroupées en [annexe 2](#).

Tableau 34: Profondeurs de carbonatation de la pâte de ciment des bétons

Echantillon	Matériau	Profondeurs de carbonatation (mm)					Profondeur de carbonatation moyenne (mm)	Enrobage (mm)	
		8	15	15	27	12		Min.	Moy.
C4-2	Béton						15	10	23

→ Synthèse: le front de carbonatation a atteint les armatures les moins enrobées, ce qui induit une dépassement de celles-ci.

Environ 5% des armatures transversales et 15% des armatures longitudinales présentent un risque de corrosion vis-à-vis du phénomène de corrosion.

4- Mesure du pH des bétons

Les résultats des analyses chimiques sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 35: pH de la pâte de ciment des bétons

Echantillon	Profondeur d'analyse (mm)	pH	Enrobage (mm)	
			Min.	Moy.
C4-2	20 - 30	12,7	10	23

→ Synthèse: au droit de l'enrobage moyen des armatures, les pH des bétons obtenus sont compris dans l'intervalle des valeurs attendues pour un béton standard. Le béton présente une bonne réserve d'alcalinité.

5- Dosage en ions chlorure libres (hydrosolubles) des bétons

Les résultats des analyses chimiques sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 36: Dosage en ions chlorure libres des bétons

Echantillon	Profondeur d'analyse (mm)	Teneur en ions chlorure libres (% masse béton)	Enrobage (mm)	
			Min.	Moy.
C4-2	0 - 10	0,025	10	23
	10 - 20	0,006		
	20 - 30	0,003		

Nota: pour le dosage des chlorures: limite de détection = 0,005 % masse béton; erreur sur la mesure < 2 %.

→ Synthèse: les teneurs en ions chlorures libres sont inférieures à la valeur d'alerte considérée comme critique sur les profondeurs testées, ce qui n'induit pas de dépassement des armatures, et par conséquent une absence risque de corrosion des armatures vis-à-vis de la pollution du béton par les ions chlorure libres.

6- Dosage en ions chlorure totaux des bétons

Les résultats des analyses chimiques sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 37: Dosage en ions chlorure totaux des bétons

Echantillon	Profondeur d'analyse (mm)	Teneur en ions chlorure totaux (% masse béton)	Estimation de la teneur en ions chlorure totaux (% masse ciment)					Enrobage (mm)	
			Dosage en ciment théorique du béton (kg.m ⁻³)					Min.	Moy.
			300	350	400	450	500		
C4-2	20 - 30	0,005	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02	10	23

Nota: pour le dosage des chlorures: limite de détection = 0,005 % masse béton; erreur sur la mesure < 2 %.

→ Synthèse: au droit des armatures, les teneurs en ions chlorure totaux sont inférieures à la valeur d'alerte admise pour des ciments de type CEM I ou CEM II, et cela pour les cinq dosages en ciment théoriques du béton considérés.

7- Mesures électrochimiques de potentiel d'électrode (par rapport à une électrode de référence Cu/CuSO₄) des armatures

Les mesures électrochimiques de potentiel d'électrode (par rapport à une électrode de référence Cu/CuSO₄) des armatures ont été réalisées aux nœuds (croisements entre les armatures horizontales et verticales) avec un pas de mesure de l'ordre de 20 cm en transversal et de l'ordre de 20 cm en longitudinal.

Le parement est en béton brut.

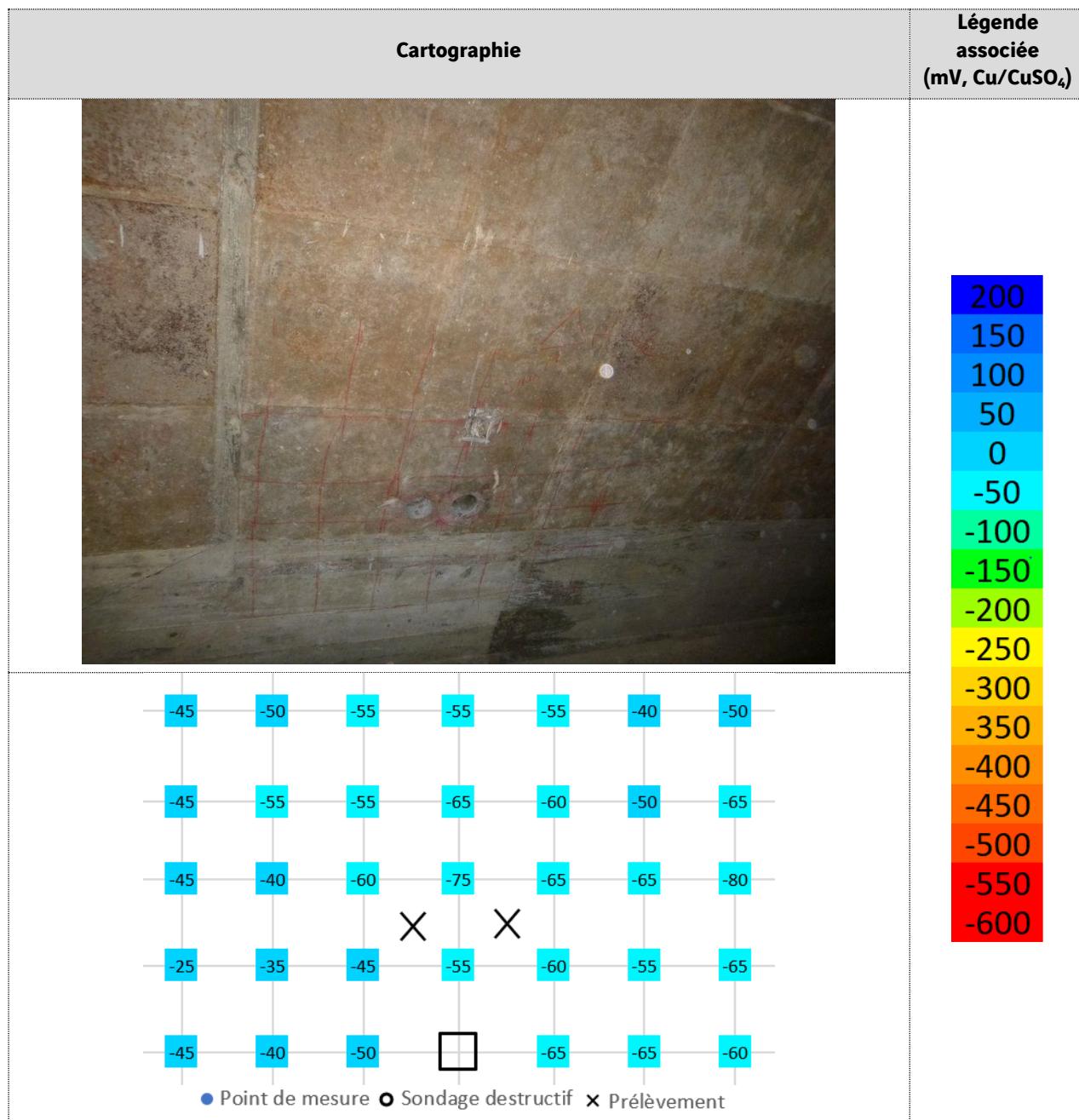
Les résultats des interprétations des mesures de potentiel d'électrode (par rapport à une électrode de référence Cu/CuSO₄) des armatures et la cartographie des potentiels d'électrode sont présentés dans les tableaux suivants.

Tableau 38: Résultats des mesures de potentiels d'électrode (par rapport à une électrode de référence Cu/CuSO₄) des armatures

RILEM TC 154-EMC		COST 509			
Environnement d'exposition	Gamme Ucorr (mV, Cu/CuSO ₄)	Min. (mV)	Max. (mV)	ΔU (mV)	Risque de corrosion
Béton sec carbonaté	0 à +200	-80	-25	55	Faible

ΔU: Différence de potentiel.

Tableau 39: Cartographie des potentiels d'électrode des armatures et légende associée



→ Synthèse: les valeurs de potentiel d'électrode (par rapport à une électrode de référence Cu/CuSO₄) sont inférieures à l'ordre des valeurs typiques liées à l'environnement d'exposition attendu pour un béton sec carbonaté. La différence de potentiel indique un risque de corrosion faible, ne mettant pas en évidence la présence de zones anodiques (zones symptomatiques d'une activité de corrosion) localisées.

Compte-tenu de l'état de dégradation des armatures dégagées et de la pollution au niveau des armatures, le phénomène de corrosion sous-jacente des armatures semble être initié et amorcé de façon au niveau des armatures les moins enrobée.

Au niveau de la sous-face du bassin, , localement les armatures les moins enrobées semblent être dans un état électrochimique d'initiation vis-à-vis du phénomène de corrosion.

V.3.6 - Conclusions sur l'état électrochimique des armatures et le risque de corrosion associé

Les résultats du diagnostic Matériau des bétons armés sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 40: Synthèse des résultats du diagnostic Matériau des bétons armés

		Z1 – Voile extérieur Sud	Z2 – Voile extérieur Est	Z3 – Poteau	Z4 – Sous-face de bassin
Etat de corrosion des armatures dégagees		Corrosion généralisée, sans perte de diamètre ni piqûration	Corrosion généralisée, sans perte de diamètre ni piqûration	Corrosion généralisée, sans perte de diamètre ni piqûration	Corrosion généralisée, sans perte de diamètre ni piqûration
Enrobage (mm)	Min.	24	17	10	10
	Moy.	36	25	26	23
Front de carbonatation (mm)		4 (max: 6)	6 (max: 12)	18 (max: 23)	15 (max: 27)
pH des béton		30 – 40: 12,7	20 – 30: 12,7	20 – 30: 12,6	20 – 30: 12,7
Teneur en ions chlorures libres (% masse béton)	0 – 10: 0,013		0 – 10: 0,084	0 – 10: 0,014	0 – 10: 0,025
	15 – 25: 0,025		10 – 20: 0,078	10 – 20: 0,006	10 – 20: 0,006
	30 – 40: 0,024		20 – 30: 0,053	20 – 30: 0,003	20 – 30: 0,003
Teneur en ions chlorures totaux (% masse béton)		30 – 40: 0,029	20 – 30: 0,073	20 – 30: 0,004	20 – 30: 0,005
Mesures électrochimiques		Passivité	Initiation du phénomène de corrosion généralisée	Initiation du phénomène de corrosion au droit des armatures les moins enrobées	Localement initiation du phénomène de corrosion au droit des armatures les moins enrobées
Autopsie visuelle		/	/	Corrosion généralisée, sans perte de diamètre ni piqûration	/

→ Synthèse:

Les parements du bassin présentent:

- des enrobages localement faibles et inférieurs exigences de l'époque de construction de l'ouvrage,
- le front de carbonatation a atteint les armatures les moins enrobées sur les poteaux et sur la sous-face de bassin,
- des bétons présentant généralement des bonnes réserves d'alcalinité,
- des bétons localement pollués par les ions chlorure libres et totaux sur les voiles périphériques,
- des mesures électrochimiques mettant en évidence un état électrochimique localement en initiation du phénomène de corrosion
- des armatures dégagees ne présentant, à l'heure actuelle, pas de perte de diamètre ni de piqûration.

Les armatures de la piscine présentent localement un risque de corrosion vis-à-vis du phénomène de carbonatation et pollution aux ions chlorures de la pâte de ciment des bétons, ce phénomène est lié à l'âge de l'ouvrage.

VI - SYNTHESE DES RESULTATS

VI.1 - Avis sur l'état de conservation de l'ouvrage

Les désordres relevés mettent en évidence des défauts de mises en œuvre, notamment des défauts de vibration du béton et d'enrobage : nombreuses zones de ségrégation, aciers apparents, gaines de précontrainte et têtes d'ancrage apparentes... Ces désordres sont préjudiciables à la pérennité de l'ouvrage.

Par ailleurs, de nombreuses efflorescences ont été relevées, des stalactites et des coulures d'eau actives. Cela indique des fuites depuis le bassin.

Au niveau structurel, quelques fissures verticales ont été relevée au niveau des poutres et une fracture perpendiculaire au bassin a été relevée à mi-longueur de la piscine en extrados, allant jusqu'aux gradins.

Les appuis sont boudinés de façon généralisée et sont localement complètement écrasés. En revanche, ils sont en bon état (aucune trace d'oxydation des frettes, pas de gerçures). Des distorsions ont été relevé sur plusieurs appuis et tendent à mettre en évidence des déplacements du bassin vers son centre (fosse).

☞ **Compte-tenu des désordres observés, des travaux de réparation et/ou de réhabilitation sont nécessaires afin d'assurer la durabilité de l'ouvrage**

VI.2 - Avis sur la durabilité des matériaux vis-à-vis de la corrosion

Les résultats du diagnostic Matériau sont synthétisés dans le Tableau 41.

Tableau 41: Synthèse des résultats du diagnostic Matériau des bétons armés

		Z1 – Voile extérieur Sud	Z2 – Voile extérieur Est	Z3 – Poteau	Z4 – Sous-face de bassin
Propriétés physico-chimiques des bétons	Masse volumique apparente (kg.m ⁻³)	2 235	2 363	2 296	2 375
	Porosité accessible à l'eau (%)	11,2	9,1	12,1	9,2
	Teneur en ions sulfates libres (% masse béton)	0 – 10: 0,196	0 – 10: 0,480	0 – 10: 0,331	0 – 10: 0,232
		15 – 25: 0,399	10 – 20: 0,337	10 – 20: 0,270	10 – 20: 0,293
		30 – 40: 0,372	20 – 30: 0,361	20 – 30: 0,209	20 – 30: 0,237
Etat électrochimique des armatures	Etat de corrosion des armatures dégagées	Corrosion généralisée, sans perte de diamètre ni piqûration	Corrosion généralisée, sans perte de diamètre ni piqûration	Corrosion généralisée, sans perte de diamètre ni piqûration	Corrosion généralisée, sans perte de diamètre ni piqûration
	Enrobage (mm)	Min. 24	17	10	10
		Moy. 36	25	26	23
	Front de carbonatation (mm)	4 (max: 6)	6 (max: 12)	18 (max: 23)	15 (max: 27)
	pH des béton	30 – 40: 12,7	20 – 30: 12,7	20 – 30: 12,6	20 – 30: 12,7
	Teneur en ions chlorures libres (% masse béton)	0 – 10: 0,013	0 – 10: 0,084	0 – 10: 0,014	0 – 10: 0,025
		15 – 25: 0,025	10 – 20: 0,078	10 – 20: 0,006	10 – 20: 0,006
		30 – 40: 0,024	20 – 30: 0,053	20 – 30: 0,003	20 – 30: 0,003
	Teneur en ions chlorures totaux (% masse béton)	30 – 40: 0,029	20 – 30: 0,073	20 – 30: 0,004	20 – 30: 0,005
	Mesures électrochimiques	Passivité	Initiation du phénomène de corrosion généralisée	Initiation du phénomène de corrosion au droit des armatures les moins enrobées	Localement initiation du phénomène de corrosion au droit des armatures les moins enrobées
	Autopsie visuelle	/	/	Corrosion généralisée, sans perte de diamètre ni piqûration	/

☞ Compte-tenu des résultats du diagnostic Matériau des bétons armés, des travaux de réparation et/ou réhabilitation sont vivement conseillés.

VII - PROPOSITIONS SUR LES ACTIONS A ENTREPRENDRE

Les actions proposées concernent le bassin.

VII.1 - Investigations complémentaires

VII.1.1 - Vérification de la précontrainte

Les gaines de précontraintes sont localement visibles dans les zones de ségrégation, le feuillard est dans un état de corrosion avancé. Il convient de dégager des gaines de précontrainte et de procéder à une inspection visuelle des armatures de précontrainte qui composent le système de précontrainte sur des zones visuellement saines et des zones visuellement dégradées afin d'avoir une vue générale de l'état de conservation de la précontrainte intérieure. Des essais en laboratoire peuvent être nécessaires pour caractériser le coulis de ciment d'injection et l'éventuelle origine de la corrosion des torons.

Suivant les conclusions de ces investigations complémentaires, les travaux de réparation / réhabilitation adaptés pourront être formulés.

VII.1.2 - Vérification des joints de fractionnement

L'origine de la fracture visible en extrados de la piscine n'est pas identifiée. Cependant, le bassin semble avoir un fonctionnement structural indépendant du reste du bâtiment. Il convient donc de vérifier les joints de fractionnement sur la plage de la piscine.

VII.1.3 - Contrôle des affouillements

Il convient de nettoyer les atterrissements présents sous la fosse de la piscine, afin de contrôler la présence éventuelle d'affouillements ou d'infiltration d'eau depuis le remblai.

VII.2 - Proposition de travaux

Les actions présentées ci-après portent uniquement sur la protection du béton armé depuis l'intrados de l'ouvrage. En aucun elles ne permettent de traiter les désordres observés sur la précontrainte, où des investigations complémentaires sont nécessaires et impératives (objet du paragraphe précédent).

Les travaux proposés pourront être amenés à être modifiés suivant les travaux de réparation / réhabilitation à réaliser sur la précontrainte.

Par ailleurs, l'extrados du bassin a récemment été remplacé (mise en place d'un nouveau carrelage), il est donc considéré que les fuites (au niveau des efflorescences) ont été correctement calfeutrées et qu'il n'y a plus de circulations d'eau dans les bétons depuis le haut.

Il convient néanmoins d'entretenir le joint de carrelage en extrados, notamment de corriger les disjointements au niveau de la fracture de la plage.

VII.1.4 - Remplacement des appuis en néoprène

Les appuis en néoprène dans un état moyen : pas d'oxydation des frettes, pas de gerçures mais des distorsions et surtout des écrasements localement importants sont observés sur les appuis. A l'heure actuelle, la plupart des appuis permettent encore le bon fonctionnement structural du bassin mais ils vont continuer à s'écraser.

Le remplacement des appuis est à envisager à moyen terme.

VII.1.5 - Purge des épaisseurs de béton polluées par les ions chlorures et par la carbonatation

Les épaisseurs de béton polluées par les ions chlorure totaux et par la carbonatation doivent être purgées, conformément aux prescriptions des normes NF EN 1504-1 à NF EN 1504-10.

Nous préconisons de réaliser une purge des bétons sur une profondeur de 4 cm sur les voiles extérieurs et de 2 cm en sous-face de bassin et sur les poteaux.

Nota : étude de renforcement nécessaire pour étalement et phasage des travaux.

VII.1.6 - Traitement adapté des armatures dégagées par l'opération de purge des bétons

L'ensemble des armatures mises à nue lors de l'opération précédente (purgé des épaisseurs de béton polluées) devront subir un traitement adapté, de façon qu'aucun produit de corrosion, ni aucun feuillet de calamine ne sera présent sur l'armature dérouillée.

Les armatures seront nettoyées par sablage et/ou par brossage jusqu'à obtenir un acier sain (dégagement de la rouille et de la calamine), sur toute la périphérie des aciers. Tous les résidus de rouille et de calamine devront être nettoyés et intégralement retirés des zones piquées (aspiration, soufflage, rinçage...).

Les armatures ayant perdu plus de 10 % de leur diamètre initial, devront être remplacées en tenant compte des longueurs d'ancrage et des longueurs de recouvrement.

Aucun produit de passivation ne sera appliqué sur les armatures mises à nue.

VII.1.7 - Reconstitution des sections de béton purgées au béton projeté ou au béton coulé en place

La reconstitution des épaisseurs de béton précédemment purgées, pour reconstitution de l'enrobage initial, pourra être effectuée par béton projeté en voie sèche ou par béton coulé en place avec un coffrage adapté à la géométrie du bassin.

VII.1.8 - Traitement adapté des désordres imputables au phénomène de corrosion des armatures

Les travaux de reprise des désordres imputables au phénomène de corrosion des armatures (éclats de béton avec armatures apparentes corrodées, éclats de béton et/ou amorces d'éclats de béton avec coulures de produits d'oxydation, ragréages décollés (sonnant le creux) avec coulures de produits d'oxydation, ...) devront se conformer aux prescriptions des normes NF EN 1504-1 à NF EN 1504-10 et NF P95-101 à NF P95-107.

Le mode opératoire généralement adopté pour le traitement des désordres imputables au phénomène de corrosion des armatures est le suivant :

- le nettoyage HP de l'ensemble des parements,
- l'inspection, le sonnage au marteau et le marquage de l'ensemble des zones visuellement non-adhérentes, dégradées ou sonnant le creux,
- le repérage et marquage de l'ensemble des zones présentant des coulures de produits d'oxydation,
- la purge des zones précédemment identifiées par piquage manuel (ou hydrodémolition) de manière à détourner les armatures et jusqu'à 2 cm au-delà de celles-ci,
- dans les zones d'effritement de la pâte de ciment, la purge des bétons devra être poursuivie jusqu'à atteindre le béton sain,
- les armatures 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 (à 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 et des longueurs de recouvrement,
- le ragréage pourra se faire par béton projeté et/ou ragréage manuel (mortier de ragréage) en fonction de l'accessibilité et des épaisseurs rencontrées.

Dégagement des barres corrodées

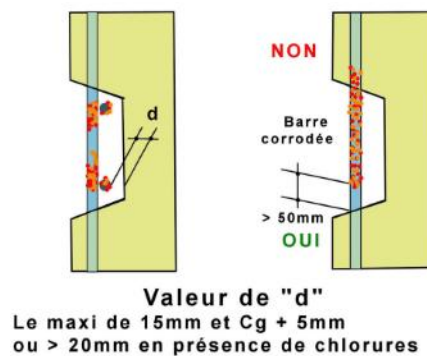


Figure 6 : Extrait de la norme NF EN 95-101

Nota 1 : les zones purgées devront avoir des bords francs sur 3 à 5 mm de hauteur pour mettre un ragréage correct.

Nota 2 : l'étendue des purges devra être définie de manière contradictoire en phase travaux.

VII.1.9 - Traitement des zones de ségrégation

L'inspection visuelle a mis en évidence de nombreuses zones de ségrégation. Il convient de purger les bétons de mauvaise qualité et de ragréer ces zones. Le ragréage pourra se faire par béton projeté et/ou ragréage manuel (mortier de ragréage) en fonction de l'accessibilité et des épaisseurs rencontrées. Il peut également être nécessaire de réaliser des injections de béton, dans le cas où les vides se prolongeraient le long des gaines de précontrainte.

VII.1.10 - Protection contre la pénétration d'agents agressifs depuis l'extérieur

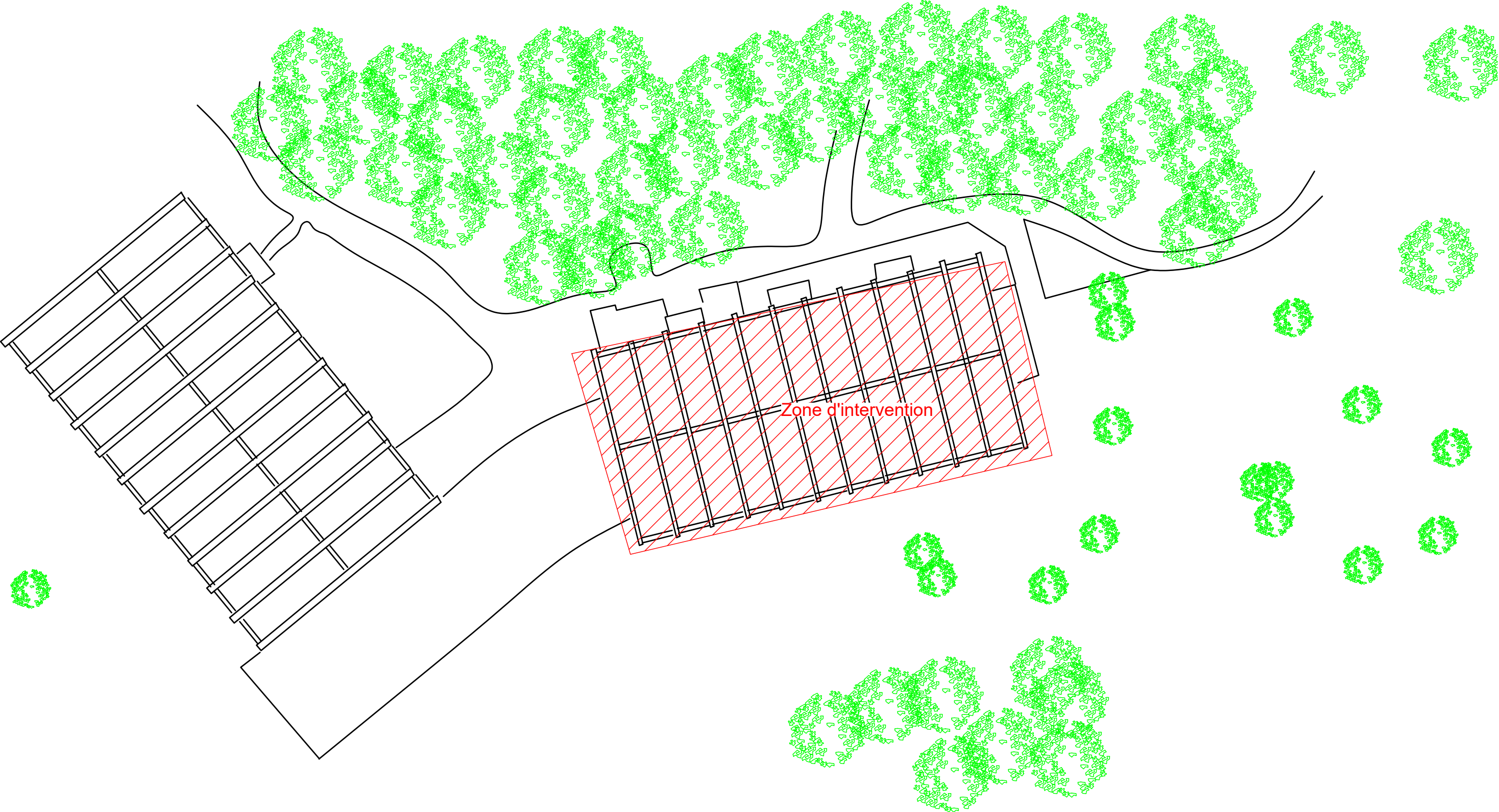
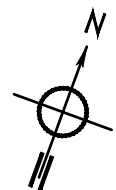
Les désordres observés en sous-face du bassin et sur les poteaux ainsi que l'atmosphère humide à laquelle ils ont été exposés jusqu'à présent, rendent souhaitable l'apport d'une protection des bétons afin de limiter la pénétration d'agents agressifs depuis l'extérieur. Il serait envisageable de procéder à la mise en œuvre d'un **revêtement d'imperméabilisation à base de liant hydraulique et de résines synthétiques** en sous-face du bassin, sur les voiles, sur les poutres et les poteaux.

Un revêtement LHM peut également être envisager mais il conviendra alors de renforcer la ventilation du local. Ce type de revêtement est sensible à l'humidité et risque de cloquer.

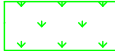
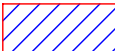
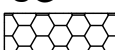
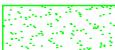
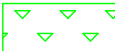
Rapport établi le 12/10/2021

La Chargé d'Etudes, T. GUITTON

ANNEXE 1 : PLANCHES TECHNIQUES D'INSPECTION ET DE LOCALISATION

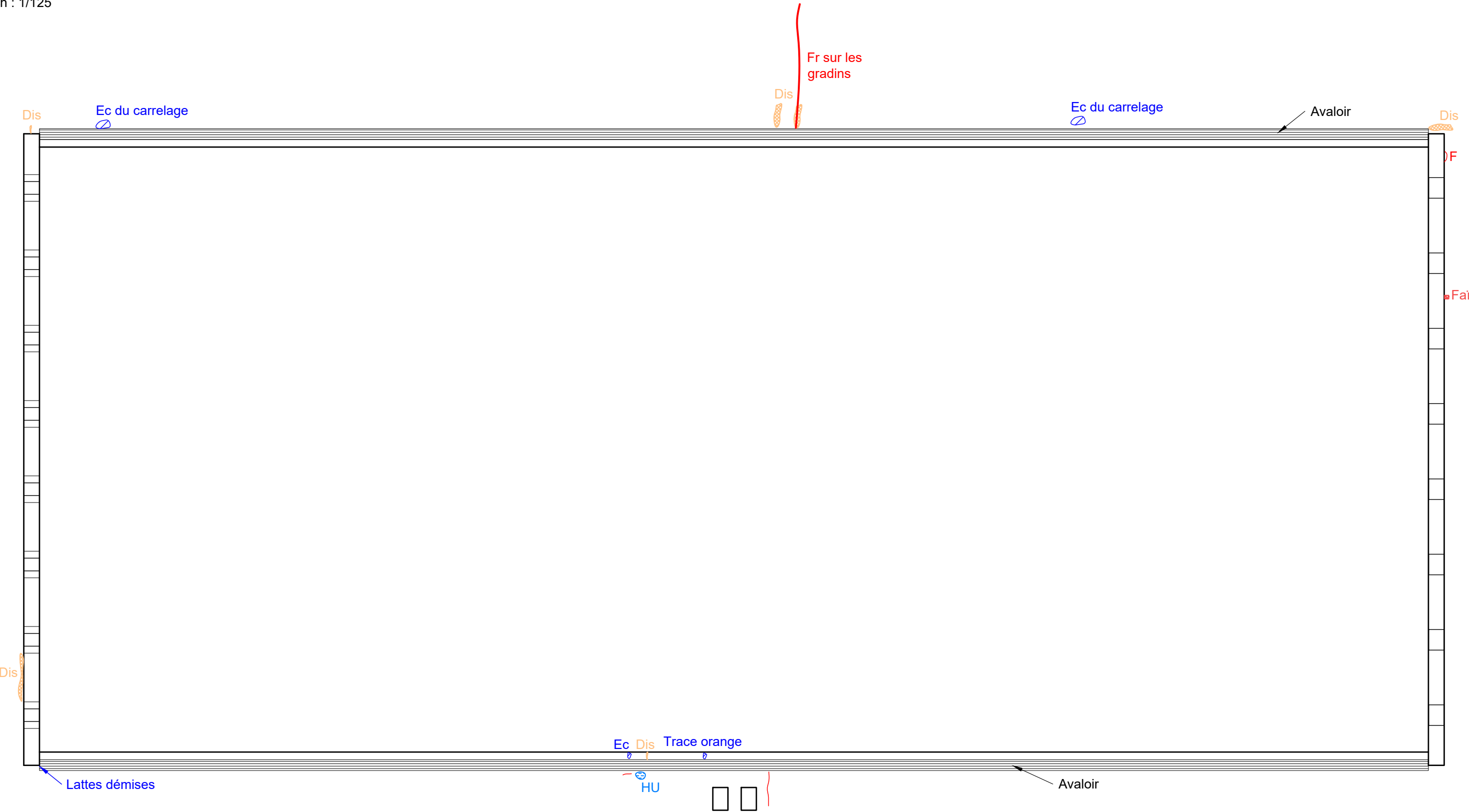


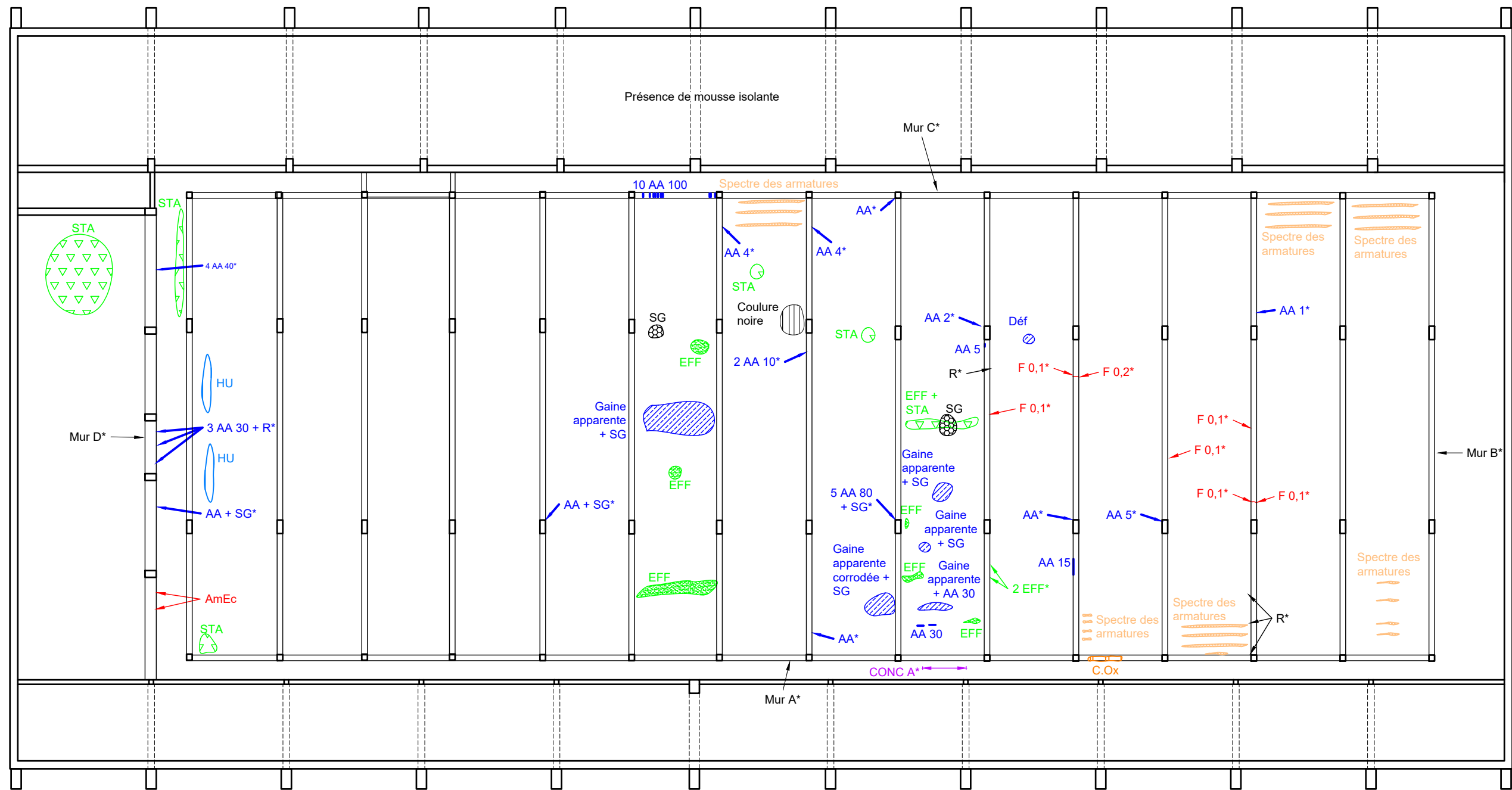
Légende inspection :

Ec° 	: Eclat de béton d'angle	VG 	: Végétation (mousse, lichens ...)
AmEc 	: Amorce d'éclat de béton	Faï 	: Faïençage
Ec 	: Eclat de béton de parement	HU 	: Humidité de parement
Déf 	: Défaut de surface (flache, pelade, orniérage, bourrelets, remontée d'eau)		: Humidité ponctuelle
AA X 	: Acier apparent de X cm de longueur	R 	: Ragréage
xAA (X ml) 	: x Acier apparent (longueur totale X ml)	R+F 	: Ragréage + fissure
μF 	: Microfissure (ouverture indiquée en mm)	R+D 	: Ragréage décollé
F 	: Fissure (ouverture indiquée en mm)	R+O 	: Ragréage + coulure d'oxyde, rouille
Fc 	: Fissure calcitée (ouverture indiquée en mm)	SG 	: Ségrégation du béton (nid de cailloux)
Fr 	: Fracture (ouverture indiquée en mm)	C.Ox 	: Coulure d'oxyde, rouille
EFF 	: Efflorescences blanches (calcite)	Att 	: Atterrissement
CONC S 	: Concrétions sèches (calcite)	d : xx mm 	: Distorsion des appareils d'appui (valeur en mm)
CONC A 	: Concrétions actives (calcite)		
STA 	: Stalactites (calcite)		

NOTA :
Les désordres représentés en gris correspondent à ceux repérés lors de l'inspection précédente.





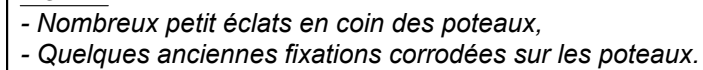


NOTA :

- Nombreuses ligatures apparentes,
- Nombreuses zones de ségrégation sur les poutres.



Ech : 1/200

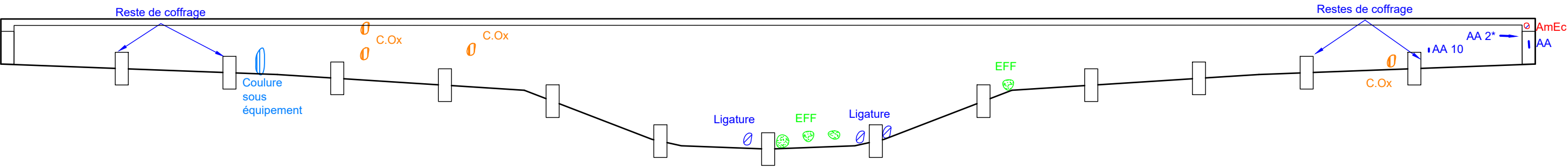


Indice A
Annexe 1
27/09/2021
Page 5 / 8

Mur A - Elévation

Relevé des désordres

Ech : 1/150



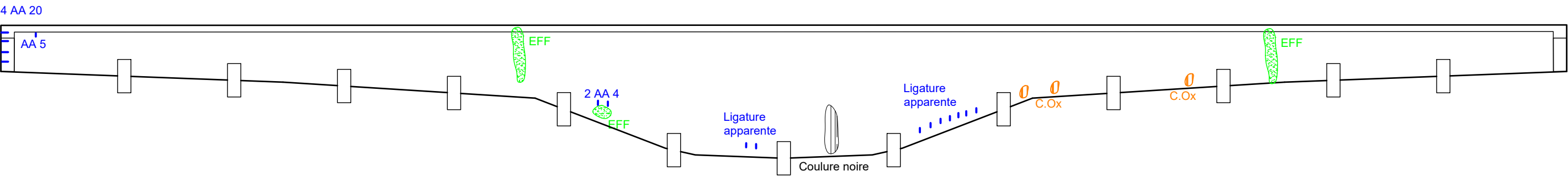
NOTA :

- Reprises de bétonnage visibles,
- Corrosion des éléments généralisée,
- Nombreuses coulures de laitance depuis le haut.

Mur C - Elévation

Relevé des désordres

Ech : 1/125

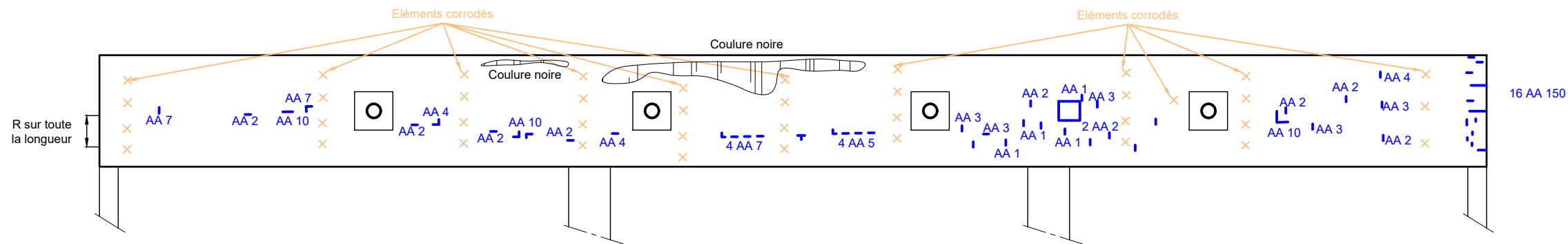


NOTA :

- Reprises de bétonnage visibles,
- Corrosion des éléments généralisée,
- Nombreuses coulures de laitance depuis le haut.

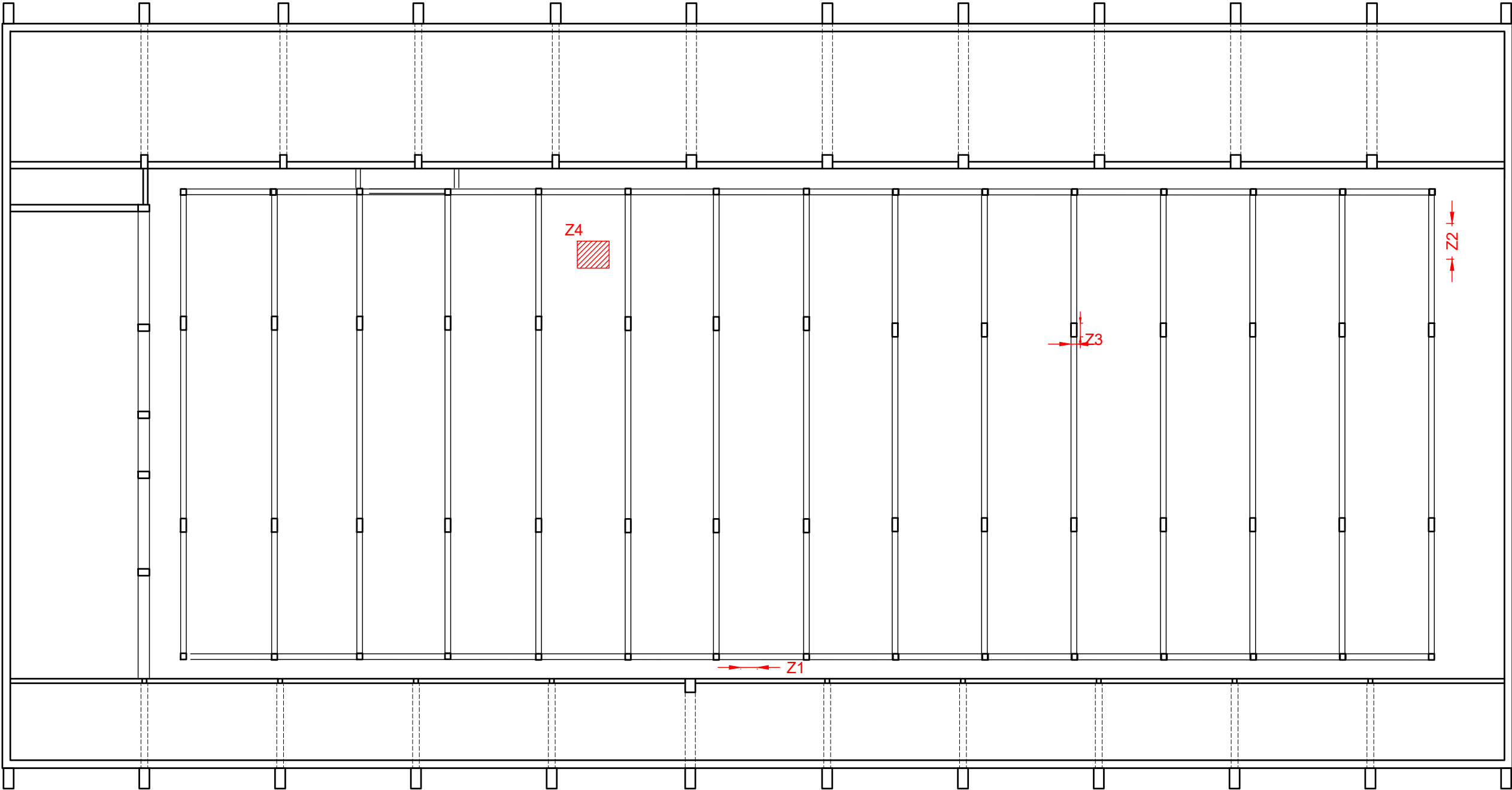


Mur B - Elévation
Relevé des désordres
Ech : 1/75



Mur D - Elévation
Relevé des désordres
Ech : 1/75





ANNEXE 2 : REPORTAGE PHOTOGRAPHIQUE

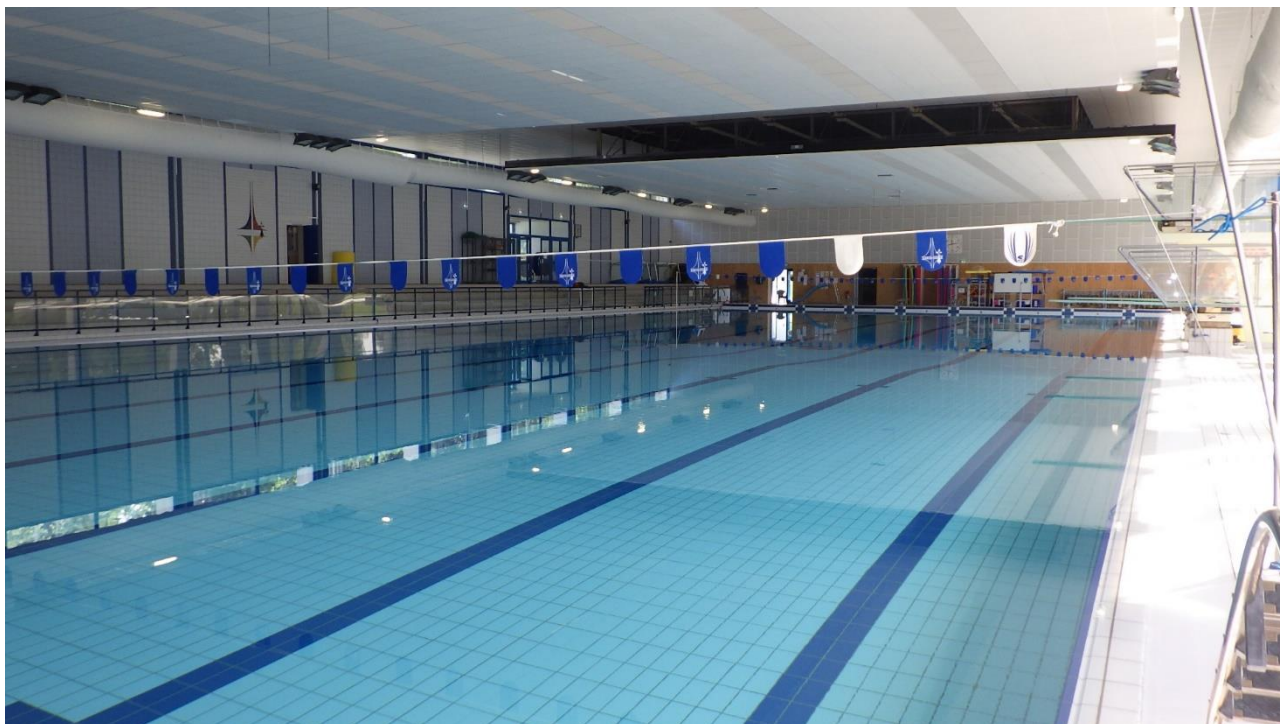


Photo 1: Vue générale de la piscine



Photo 2: Vue sur la sous-face du bassin



Photo 3: Gaine de précontrainte apparente dans une zone de ségrégation en sous-face de bassin



Photo 4: Acier apparent et ancrage de précontrainte apparent dans une zone de ségrégation en sous-face de bassin



Photo 5: Efflorescences en sous-face de bassin



Photo 6: Spectre des armatures visible en sous-face de bassin



Photo 7: Ligatures apparentes en sous-face de bassin



Photo 8: Efflorescences sur une poutre



Photo 9: Fissure verticale sur une poutre



Photo 10: Acier apparent sur une poutre



Photo 11: Ligatures apparentes en haut d'une poutre



Photo 12: Aciers apparent en sous-face de poutre



Photo 13: Aciers apparents corrodés sur le voile de bassin Est



Photo 14: Ancrage de précontrainte corrodé sur le voile de bassin Est et éléments corrodés



Photo 15: Voile de bassin Sud



Photo 16: Efflorescence sur le voile de bassin Sud



Photo 17: Coulures sur le voile de bassin Nord



Photo 18: Stalactites avec coulures actives depuis le voile de bassin Ouest



Photo 19: Poteau support de bassin



Photo 20: Aciers apparents sur un poteau support de bassin



Photo 21: Eclat de béton en coin de poteau support de bassin



Photo 22: Aciers apparents avec amorce d'éclat en pied de poteau support de bassin



Photo 23: Poteaux support du plancher



Photo 24: Acier apparent sur lun poteau support de plancher



Photo 25: Atterrissements sur le radier sous la fosse



Photo 26: Humidité du radier



Photo 27: Fissures sur le radier



Photo 28: Mousse isolante en sous-face du plancher



Photo 29: Coulure sur le voile extérieur



Photo 30: Infiltrations sur le voile extérieur



Photo 31 : Aciers apparents sur le voile extérieur

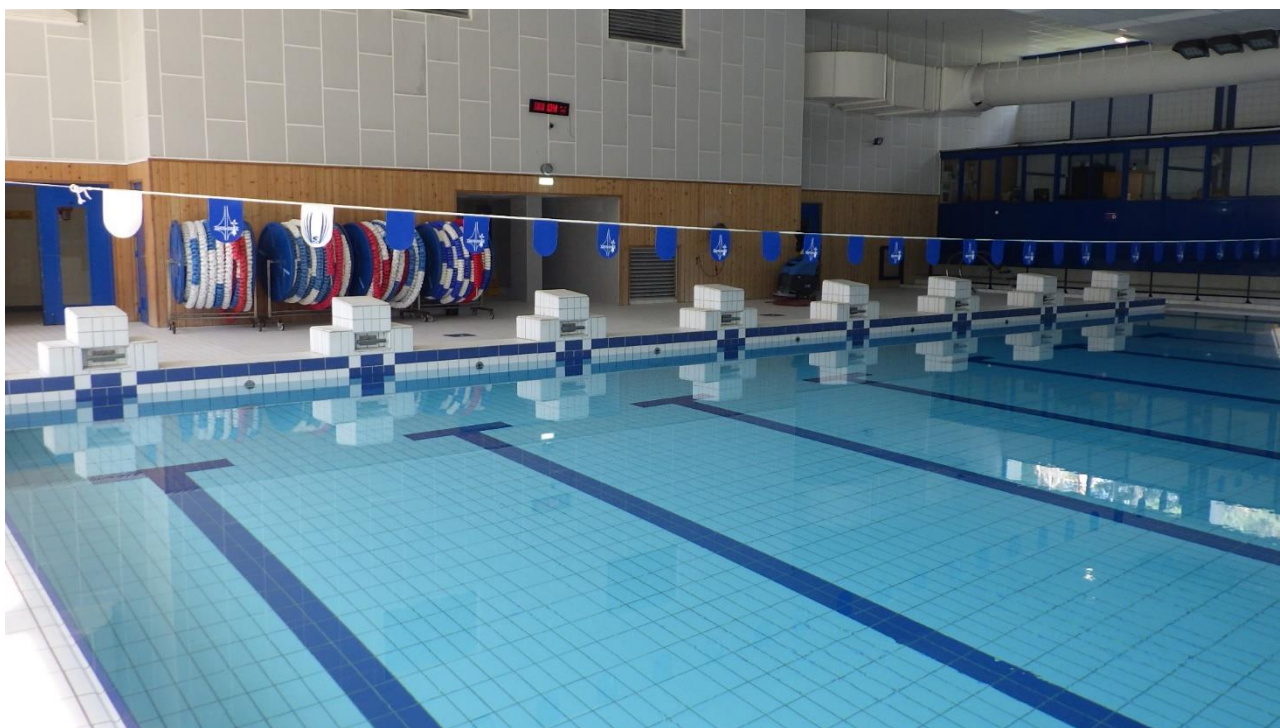


Photo 32 : Vue sur l'extrados de la piscine



Photo 33: Léger éclat de carrelage en extradados

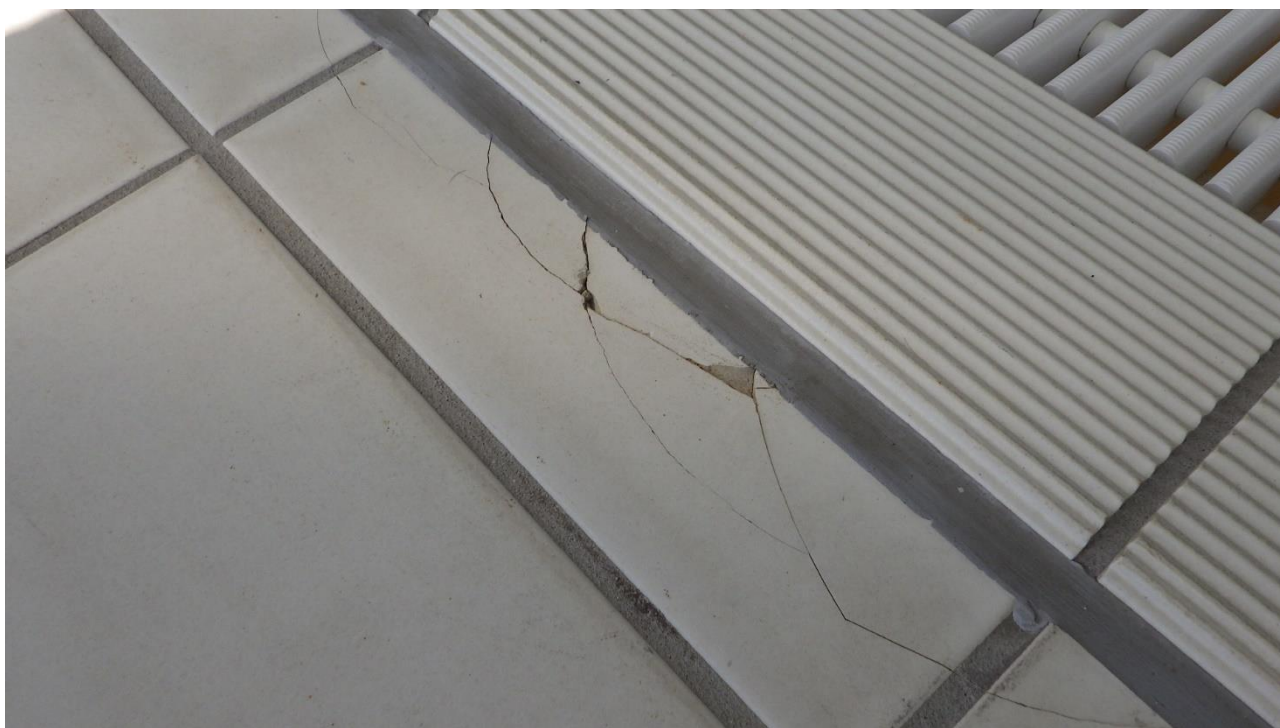


Photo 34: Fissuration d'un carreau en extradados

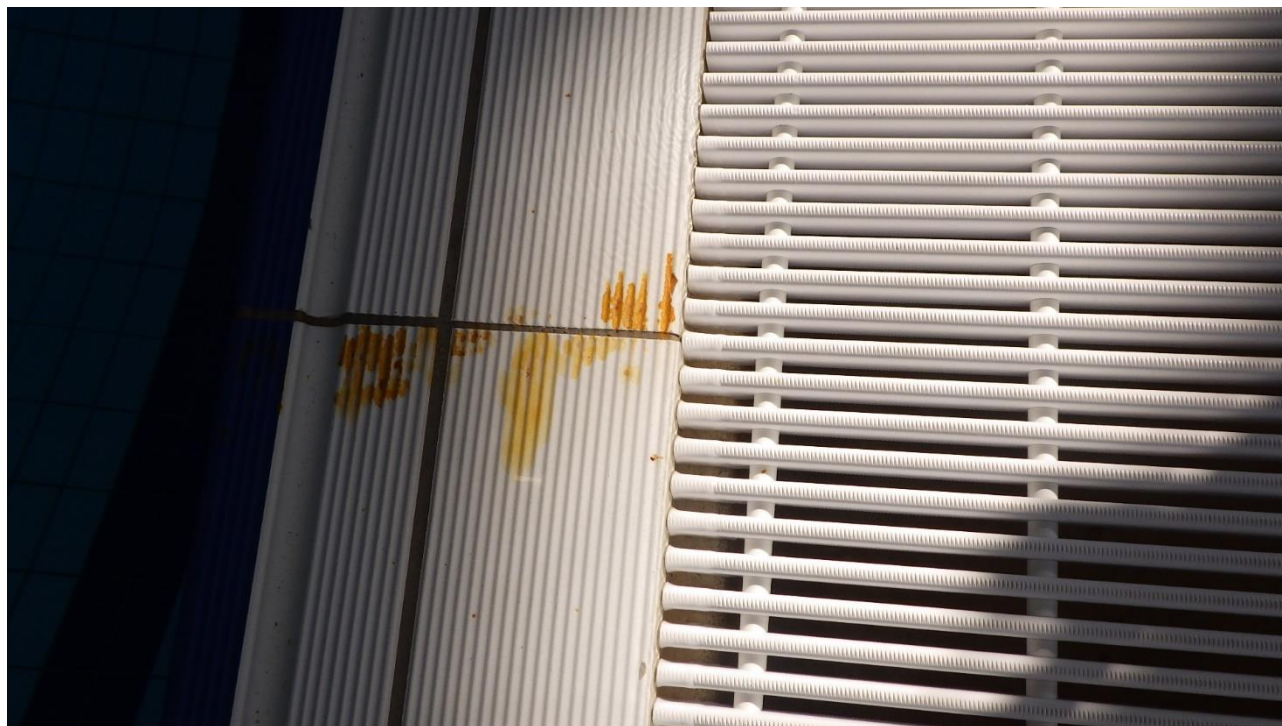


Photo 35: Trace orange en extrados



Photo 36: Léger disjointement en extrados



Photo 37: Fracture sur les gradins en extradados



Photo 38: Fissure entre les carreau en extradados



Photo 39: Appui en néoprène A1 boudiné avec distorsion



Photo 40: Appui en néoprène 9C



Photo 41: Appui en néoprène 2D non visible



Photo 42: Appui en néoprène 11B boudiné



Photo 43: Zone de diagnostic Z1



Photo 44: Zone de diagnostic Z2



Photo 45: Zone de diagnostic Z3



Photo 46: Zone de diagnostic Z4

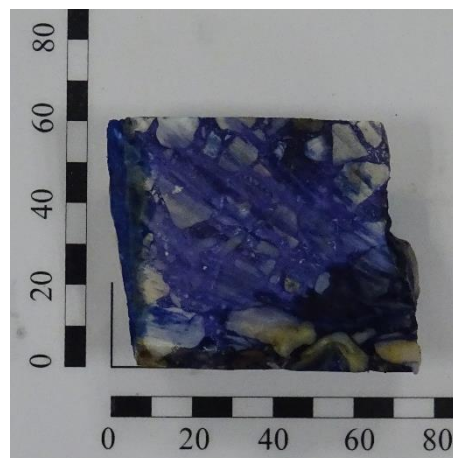


Photo 47: Echantillon: C1 – 1 ; Essai de carbonatation

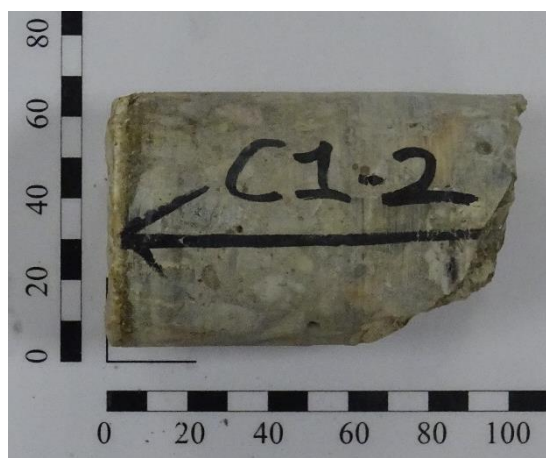


Photo 48: Echantillon: C1 – 2



Photo 49: Echantillon : C2 – 1



Photo 50: Echantillon: C2 - 2 ; Essai de carbonatation

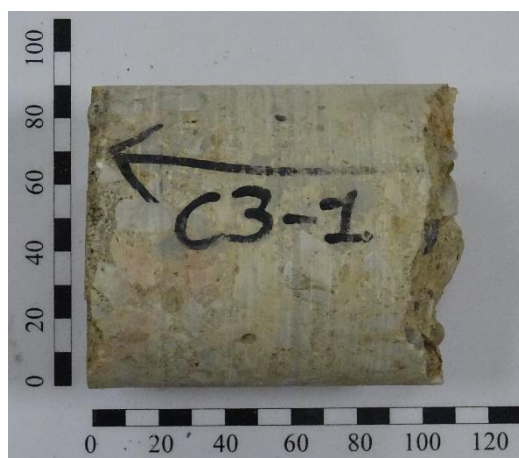
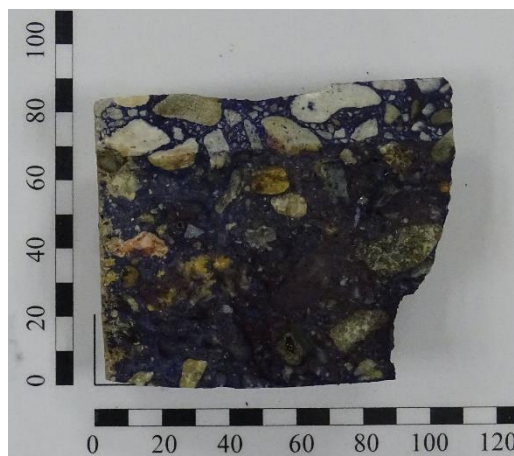


Photo 51: Echantillon: C3 - 1 ; Essai de carbonatation

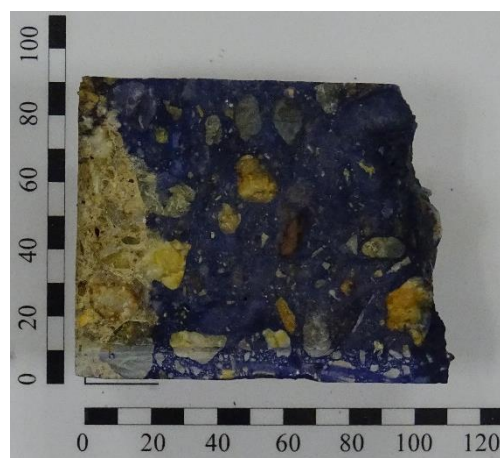


Photo 52: Echantillon: C3 - 2

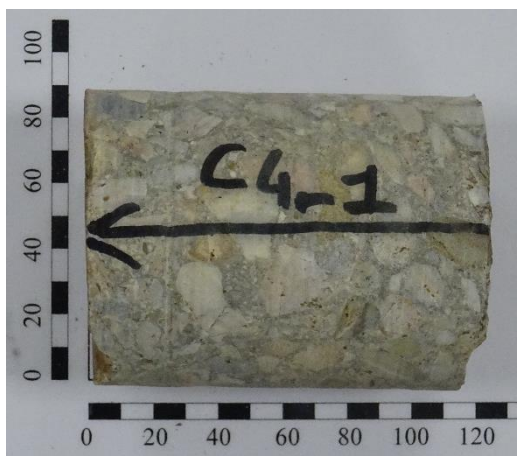


Photo 53: Echantillon: C4 - 1

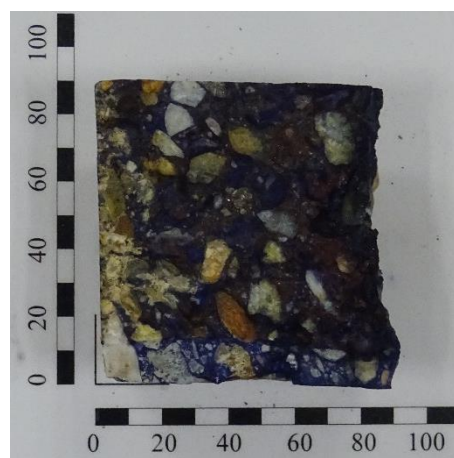
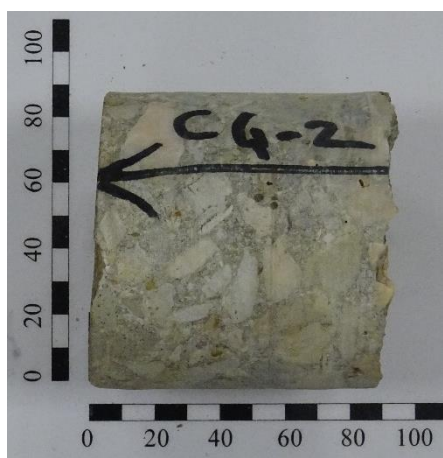


Photo 54: Echantillon: C4 - 2; Essai de carbonatation

ANNEXE 3 : ENREGISTREMENTS PACHOMETRIQUES

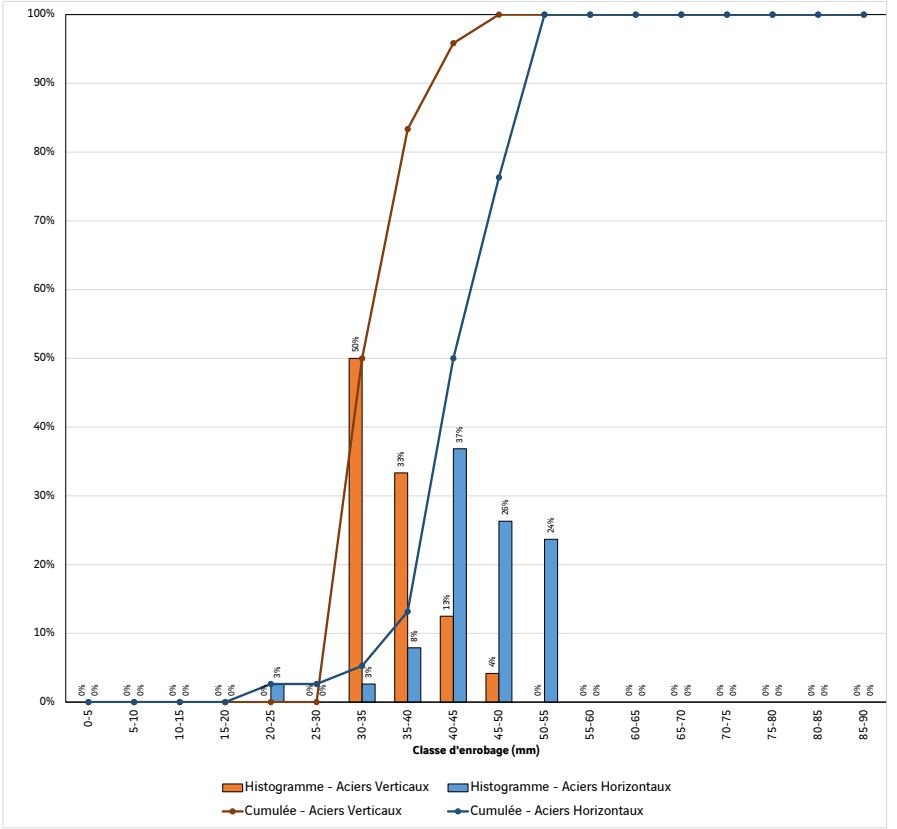
Aciers repérés : Verticaux

Fichier n°	Nombre	Position (m)	Enrobage (mm)	Diamètre
PS300-225_Résultats.csv	1	0,191	41	24 mm
PS300-225_Résultats.csv	2	0,361	49	24 mm
PS300-225_Résultats.csv	3	0,532	43	24 mm
PS300-225_Résultats.csv	4	0,621	42	24 mm
PS300-225_Résultats.csv	5	0,67	39	24 mm
PS300-225_Résultats.csv	6	0,783	37	24 mm
PS300-225_Résultats.csv	7	0,877	37	24 mm
PS300-225_Résultats.csv	8	0,955	35	24 mm
PS300-225_Résultats.csv	9	1,054	38	24 mm
PS300-226_Résultats.csv	1	0,059	31	24 mm
PS300-226_Résultats.csv	2	0,15	32	24 mm
PS300-226_Résultats.csv	3	0,23	33	24 mm
PS300-226_Résultats.csv	4	0,331	34	24 mm
PS300-226_Résultats.csv	5	0,424	35	24 mm
PS300-226_Résultats.csv	6	0,501	35	24 mm
PS300-226_Résultats.csv	7	0,587	34	24 mm
PS300-226_Résultats.csv	8	0,665	36	24 mm
PS300-226_Résultats.csv	9	0,762	34	24 mm
PS300-226_Résultats.csv	10	0,855	33	24 mm
PS300-226_Résultats.csv	11	0,945	32	24 mm
PS300-226_Résultats.csv	12	1,033	32	24 mm
PS300-226_Résultats.csv	13	1,119	31	24 mm
PS300-226_Résultats.csv	14	1,208	32	24 mm
PS300-226_Résultats.csv	15	1,298	34	24 mm

Aciers repérés : Horizontaux

Fichier n°	Nombre	Position (m)	Enrobage (mm)	Diamètre
PS300-227_Résultats.csv	2	0,113	51	10 mm
PS300-227_Résultats.csv	3	0,141	52	10 mm
PS300-227_Résultats.csv	4	0,17	52	10 mm
PS300-227_Résultats.csv	5	0,212	50	10 mm
PS300-227_Résultats.csv	6	0,229	50	10 mm
PS300-227_Résultats.csv	7	0,269	52	10 mm
PS300-227_Résultats.csv	8	0,322	51	10 mm
PS300-227_Résultats.csv	9	0,465	34	10 mm
PS300-227_Résultats.csv	10	0,523	40	10 mm
PS300-227_Résultats.csv	11	0,57	41	10 mm
PS300-227_Résultats.csv	12	0,628	38	10 mm
PS300-227_Résultats.csv	13	0,688	41	10 mm
PS300-227_Résultats.csv	16	0,827	44	10 mm
PS300-227_Résultats.csv	19	1,096	41	10 mm
PS300-227_Résultats.csv	20	1,15	38	10 mm
PS300-228_Résultats.csv	3	0,182	38	10 mm
PS300-228_Résultats.csv	5	0,318	50	10 mm
PS300-228_Résultats.csv	6	0,363	51	10 mm
PS300-228_Résultats.csv	7	0,466	24	10 mm
PS300-228_Résultats.csv	8	0,555	44	10 mm
PS300-228_Résultats.csv	9	0,611	43	10 mm
PS300-228_Résultats.csv	10	0,649	43	10 mm
PS300-228_Résultats.csv	11	0,682	44	10 mm
PS300-228_Résultats.csv	12	0,712	46	10 mm
PS300-228_Résultats.csv	13	0,764	45	10 mm
PS300-228_Résultats.csv	14	0,809	46	10 mm
PS300-228_Résultats.csv	15	1,088	45	10 mm
PS300-228_Résultats.csv	16	1,138	45	10 mm
PS300-229_Résultats.csv	2	0,096	48	10 mm
PS300-229_Résultats.csv	3	0,222	40	10 mm
PS300-229_Résultats.csv	4	0,287	44	10 mm
PS300-229_Résultats.csv	5	0,332	43	10 mm
PS300-229_Résultats.csv	6	0,385	40	10 mm
PS300-229_Résultats.csv	7	0,425	41	10 mm
PS300-229_Résultats.csv	8	0,521	48	10 mm
PS300-229_Résultats.csv	9	0,725	47	10 mm
PS300-229_Résultats.csv	11	0,941	47	10 mm
PS300-229_Résultats.csv	12	1,022	47	10 mm

Aciers repérés de la 1 ^{ère} nappe rencontrée	Longueur (m)	Nombre d'aciers repérés	Enrobage (mm)				Espacement (mm)			
			Min.	Max.	Moy.	ET	Min.	Max.	Moy.	ET
Verticaux	2,4	24	31	49	36	4	49	191	100	33
Horizontaux	3,3	38	24	52	44	6	17	279	83	67



Mesures d'enrobage

Zone : Z2

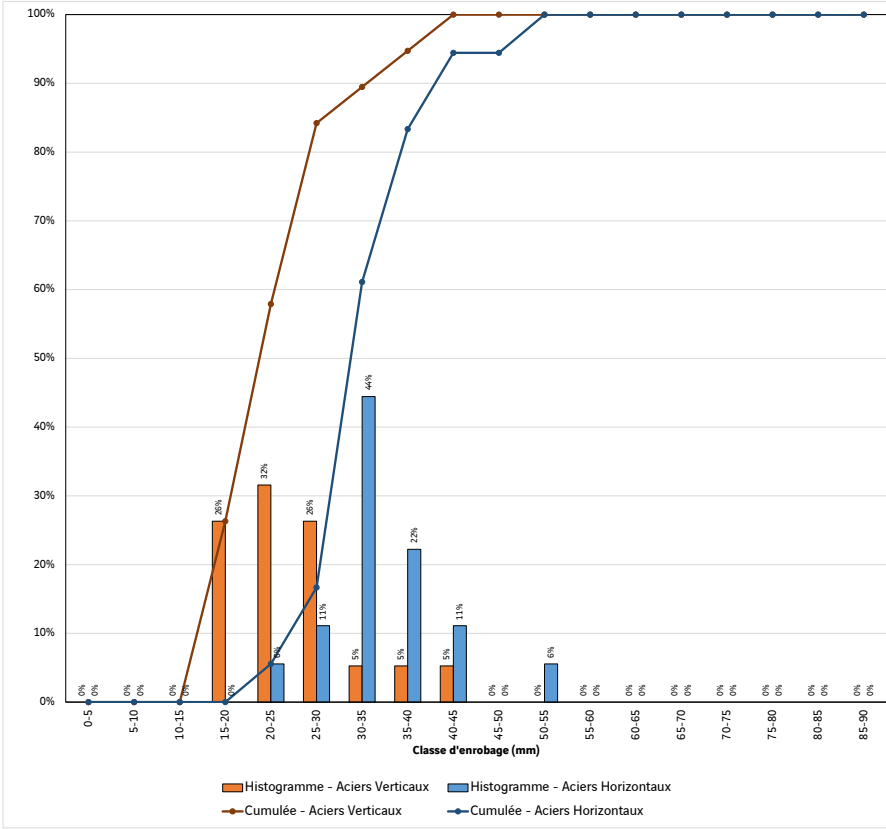
Aciers repérés : Verticaux

Fichier n°	Nombre	Position (m)	Enrobage (mm)	Diamètre
PS300-220_batch_res.csv	1	0,141	24	8 mm
PS300-220_batch_res.csv	2	0,285	44	8 mm
PS300-220_batch_res.csv	4	0,494	18	8 mm
PS300-220_batch_res.csv	5	0,626	27	8 mm
PS300-220_batch_res.csv	6	0,829	25	8 mm
PS300-220_batch_res.csv	7	1,026	29	8 mm
PS300-220_batch_res.csv	8	1,224	27	8 mm
PS300-220_batch_res.csv	9	1,399	33	8 mm
PS300-220_batch_res.csv	10	1,607	29	8 mm
PS300-220_batch_res.csv	11	1,723	39	8 mm
PS300-221_batch_res.csv	1	0,169	22	8 mm
PS300-221_batch_res.csv	3	0,486	20	8 mm
PS300-221_batch_res.csv	4	0,661	19	8 mm
PS300-221_batch_res.csv	5	0,864	19	8 mm
PS300-221_batch_res.csv	6	1,051	20	8 mm
PS300-221_batch_res.csv	7	1,261	21	8 mm
PS300-221_batch_res.csv	8	1,409	19	8 mm
PS300-221_batch_res.csv	9	1,648	21	8 mm
PS300-221_batch_res.csv	10	1,785	17	8 mm

Aciers repérés : Horizontaux

Fichier n°	Nombre	Position (m)	Enrobage (mm)	Diamètre
PS300-222_batch_res.csv	1	0,058	37	8 mm
PS300-222_batch_res.csv	2	0,208	35	8 mm
PS300-222_batch_res.csv	3	0,342	53	8 mm
PS300-222_batch_res.csv	4	0,474	32	8 mm
PS300-222_batch_res.csv	5	0,606	30	8 mm
PS300-222_batch_res.csv	6	0,812	31	8 mm
PS300-223_batch_res.csv	1	0,179	44	8 mm
PS300-223_batch_res.csv	2	0,322	34	8 mm
PS300-223_batch_res.csv	3	0,481	26	8 mm
PS300-223_batch_res.csv	4	0,569	31	8 mm
PS300-223_batch_res.csv	5	0,789	29	8 mm
PS300-224_batch_res.csv	1	0,072	44	8 mm
PS300-224_batch_res.csv	3	0,241	33	8 mm
PS300-224_batch_res.csv	5	0,378	39	8 mm
PS300-224_batch_res.csv	6	0,48	35	8 mm
PS300-224_batch_res.csv	8	0,627	31	8 mm
PS300-224_batch_res.csv	9	0,738	30	8 mm
PS300-224_batch_res.csv	10	0,893	24	8 mm

Aciers repérés de la 1 ^{ère} nappe rencontrée	Longueur (m)	Nombre d'aciers repérés	Enrobage (mm)				Espacement (mm)			
			Min.	Max.	Moy.	ET	Min.	Max.	Moy.	ET
Verticaux	3,5	19	17	44	25	7	116	317	186	47
Horizontaux	2,5	18	24	53	34	7	88	220	146	35



Mesures d'enrobage

Zone :

Z3

Aciers repérés :

Verticaux

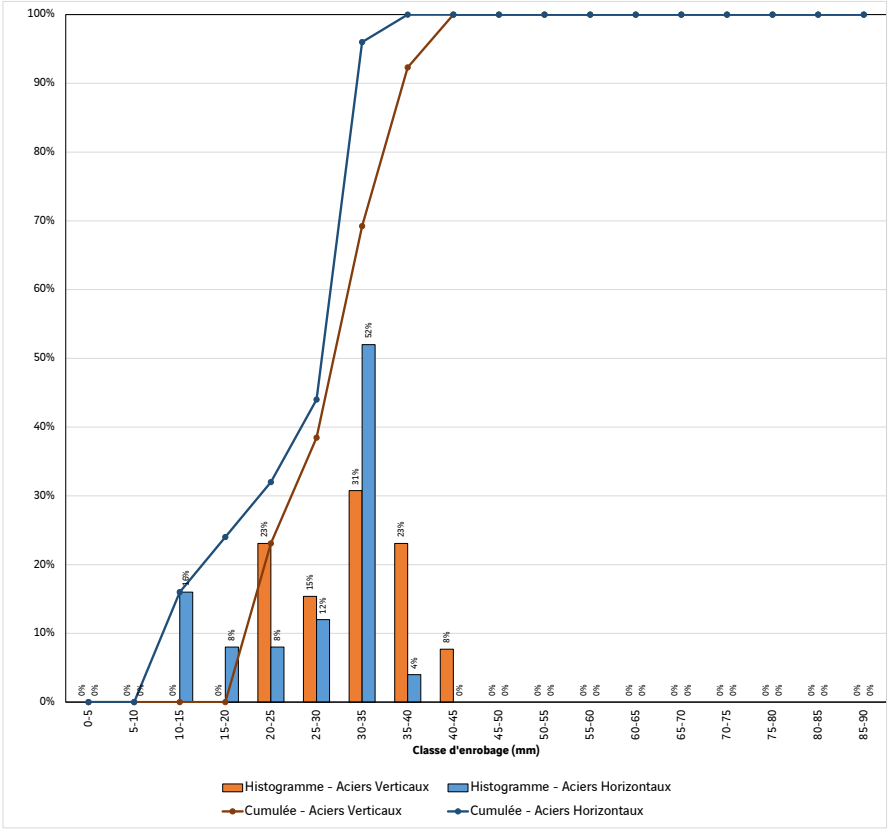
Aciers repérés :

Horizontaux

Fichier n°	Nombre	Position (m)	Enrobage (mm)	Diamètre
PS300-214_Résultats.csv	1	0,237	35	16 mm
PS300-214_Résultats.csv	2	0,468	32	16 mm
PS300-214_Résultats.csv	3	0,544	24	16 mm
PS300-214_Résultats.csv	4	0,708	23	16 mm
PS300-215_Résultats.csv	1	0,044	40	16 mm
PS300-215_Résultats.csv	2	0,306	29	16 mm
PS300-215_Résultats.csv	3	0,543	35	16 mm
PS300-215_Résultats.csv	4	0,675	30	16 mm
PS300-215_Résultats.csv	5	0,843	23	16 mm
PS300-216_Résultats.csv	1	0,051	31	16 mm
PS300-216_Résultats.csv	2	0,292	28	16 mm
PS300-216_Résultats.csv	3	0,52	38	16 mm
PS300-216_Résultats.csv	4	0,624	30	16 mm

Fichier n°	Nombre	Position (m)	Enrobage (mm)	Diamètre
PS300-217_Résultats.csv	1	0,078	34	6 mm
PS300-217_Résultats.csv	2	0,222	35	6 mm
PS300-217_Résultats.csv	3	0,376	34	6 mm
PS300-217_Résultats.csv	4	0,514	32	6 mm
PS300-217_Résultats.csv	5	0,671	30	6 mm
PS300-217_Résultats.csv	6	0,817	31	6 mm
PS300-217_Résultats.csv	7	0,964	30	6 mm
PS300-217_Résultats.csv	8	1,112	28	6 mm
PS300-218_Résultats.csv	1	0,045	33	6 mm
PS300-218_Résultats.csv	2	0,191	31	6 mm
PS300-218_Résultats.csv	3	0,346	33	6 mm
PS300-218_Résultats.csv	4	0,478	33	6 mm
PS300-218_Résultats.csv	5	0,634	28	6 mm
PS300-218_Résultats.csv	6	0,78	29	6 mm
PS300-218_Résultats.csv	7	0,931	30	6 mm
PS300-218_Résultats.csv	8	1,081	31	6 mm
PS300-218_Résultats.csv	9	1,217	30	6 mm
PS300-219_Résultats.csv	1	0,108	10	6 mm
PS300-219_Résultats.csv	2	0,24	13	6 mm
PS300-219_Résultats.csv	3	0,354	13	6 mm
PS300-219_Résultats.csv	4	0,497	12	6 mm
PS300-219_Résultats.csv	5	0,638	16	6 mm
PS300-219_Résultats.csv	6	0,793	20	6 mm
PS300-219_Résultats.csv	7	0,938	18	6 mm
PS300-219_Résultats.csv	8	1,075	21	6 mm

Aciers repérés de la 1 ^{ère} nappe rencontrée	Longueur (m)	Nombre d'aciers repérés	Enrobage (mm)				Espacement (mm)			
			Min.	Max.	Moy.	ET	Min.	Max.	Moy.	ET
Verticaux	2,2	13	23	40	31	5	76	262	189	63
Horizontaux	3,4	25	10	35	26	8	114	157	144	10



Mesures d'enrobage

Zone :

Z3

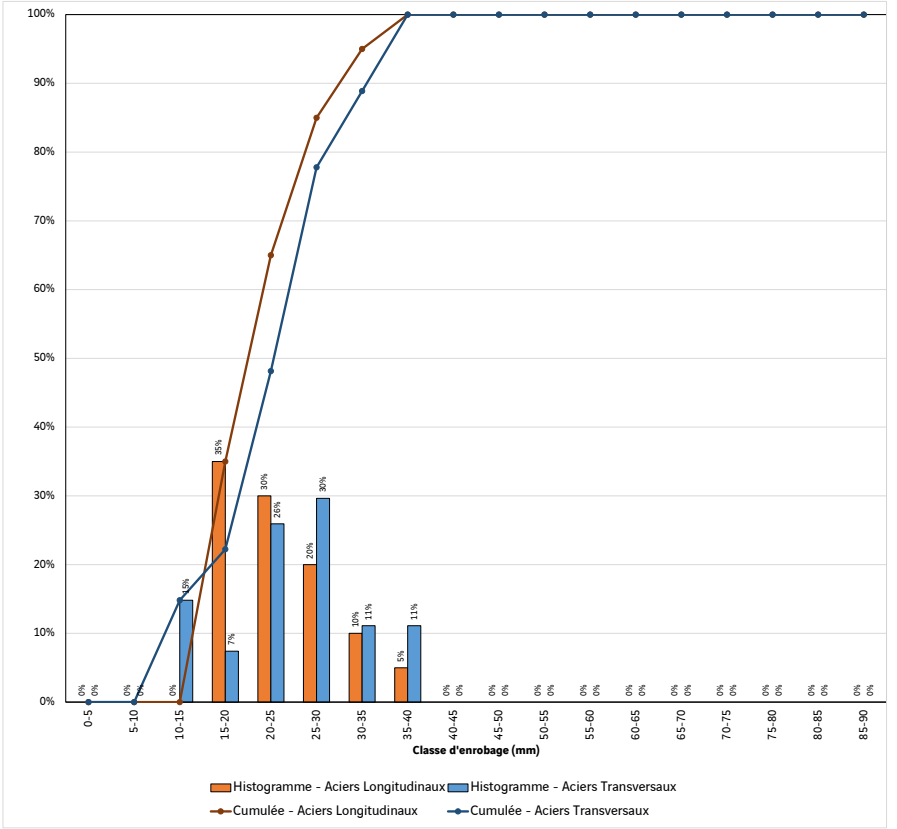
Aciers repérés : Longitudinaux

Aciers repérés : Transversaux

Fichier n°	Nombre	Position (m)	Enrobage (mm)	Diamètre
PS300-209_batch_res.csv	2	0,199	27	5 mm
PS300-209_batch_res.csv	3	0,245	17	5 mm
PS300-209_batch_res.csv	4	0,392	33	5 mm
PS300-209_batch_res.csv	6	0,598	35	5 mm
PS300-209_batch_res.csv	8	0,804	17	5 mm
PS300-209_batch_res.csv	11	0,991	18	5 mm
PS300-209_batch_res.csv	12	1,189	20	5 mm
PS300-209_batch_res.csv	13	1,372	22	5 mm
PS300-209_batch_res.csv	14	1,558	21	5 mm
PS300-209_batch_res.csv	15	1,723	18	5 mm
PS300-210_batch_res.csv	1	0,12	25	5 mm
PS300-210_batch_res.csv	2	0,287	23	5 mm
PS300-210_batch_res.csv	3	0,503	30	5 mm
PS300-210_batch_res.csv	4	0,7	23	5 mm
PS300-210_batch_res.csv	5	0,902	25	5 mm
PS300-210_batch_res.csv	6	1,015	15	5 mm
PS300-210_batch_res.csv	7	1,098	19	5 mm
PS300-210_batch_res.csv	8	1,301	16	5 mm
PS300-210_batch_res.csv	9	1,493	26	5 mm
PS300-210_batch_res.csv	10	1,699	20	5 mm

Fichier n°	Nombre	Position (m)	Enrobage (mm)	Diamètre
PS300-211_batch_res.csv	1	0,206	35	5 mm
PS300-211_batch_res.csv	3	0,379	22	5 mm
PS300-211_batch_res.csv	5	0,597	37	5 mm
PS300-211_batch_res.csv	8	0,797	34	5 mm
PS300-211_batch_res.csv	10	0,984	27	5 mm
PS300-211_batch_res.csv	12	1,195	28	5 mm
PS300-211_batch_res.csv	13	1,396	26	5 mm
PS300-211_batch_res.csv	14	1,595	23	5 mm
PS300-212_batch_res.csv	1	0,043	27	5 mm
PS300-212_batch_res.csv	2	0,237	28	5 mm
PS300-212_batch_res.csv	3	0,434	28	5 mm
PS300-212_batch_res.csv	5	0,632	39	5 mm
PS300-212_batch_res.csv	6	0,832	33	5 mm
PS300-212_batch_res.csv	7	1,031	22	5 mm
PS300-212_batch_res.csv	8	1,228	20	5 mm
PS300-212_batch_res.csv	9	1,424	21	5 mm
PS300-212_batch_res.csv	11	1,625	11	5 mm
PS300-212_batch_res.csv	12	1,671	14	5 mm
PS300-213_batch_res.csv	1	0,067	10	5 mm
PS300-213_batch_res.csv	3	0,258	18	5 mm
PS300-213_batch_res.csv	4	0,463	24	5 mm
PS300-213_batch_res.csv	5	0,657	10	5 mm
PS300-213_batch_res.csv	6	0,855	16	5 mm
PS300-213_batch_res.csv	7	1,056	27	5 mm
PS300-213_batch_res.csv	8	1,254	28	5 mm
PS300-213_batch_res.csv	9	1,452	31	5 mm
PS300-213_batch_res.csv	10	1,649	22	5 mm

Aciers repérés de la 1 ^{ère} nappe rencontrée	Longueur (m)	Nombre d'aciers repérés	Enrobage (mm)				Espacement (mm)			
			Min.	Max.	Moy.	ET	Min.	Max.	Moy.	ET
Longitudinaux	3,4	20	15	35	23	6	46	216	174	46
Transversaux	4,9	27	10	39	24	8	46	218	192	32



ANNEXE 4: METHODOLOGIE DES ESSAIS SUR SITE ET EN LABORATOIRE

• Mesure de l'enrobage des armatures

Les armatures ont été repérées à l'aide d'un pachomètre (Ferroskan® - Hilti). Ces mesures ont permis de connaître l'enrobage minimal et moyen sur de grandes surfaces, et de pouvoir visualiser la répartition du ferrailage.



Détection des armatures



Lecture de l'épaisseur d'enrobage

NOTA: La détection des armatures et la mesure de l'enrobage avec ce type de détecteur ont : une incertitude de 5 mm sur la localisation des barres, une incertitude de 2 mm sur la mesure de l'enrobage, une incertitude de 5 mm sur la mesure du diamètre. De plus, le Ferroskan® est peu efficace au-delà d'une dizaine de centimètres.

• Sondage destructif pour déterminer les caractéristiques des armatures dégagées

Les sondages sont réalisés au marteau piqueur sur différentes zones des structures afin de vérifier le ferrailage existant. Au préalable, le support est analysé au pachomètre afin de ne pas couper ou altérer les armatures en place.

• Mesure électrochimique de potentiel d'électrode (par rapport à une électrode de référence Cu/CuSO₄) des armatures (selon la recommandation de la RILEM TC 154-EMC)

La technique employée pour déterminer le degré de corrosion des armatures est la mesure des variations engendrées par les modifications du potentiel électrique dans les zones corrodées. Ces mesures sont réalisées à l'aide d'une électrode « cuivre / sulfate de cuivre » (Cu/CuSO₄) que l'on passe sur la surface du béton. La connexion électrique entre l'appareil et la surface du béton est assurée, d'un côté de manière directe sur une armature, et de l'autre côté par une électrode. L'électrode est positionnée sur le parement au droit des armatures préalablement repérées à l'aide du pachomètre.

Pour évaluer la probabilité ou le risque de corrosion des armatures, plusieurs interprétations sont utilisées :

- d'après la recommandation de la RILEM TC 154-EMC « Le potentiel de demi-cellule mesure le potentiel d'électrode U_{corr} qui est lié à l'état de corrosion de l'acier dans le béton. [...], les valeurs mesurées sont influencées par l'enrobage de béton, la résistivité du béton (teneur en humidité) et la disponibilité d'oxygène. », c'est pourquoi elle indique les ordres de grandeurs des valeurs de potentiel d'électrode (par rapport à une électrode de référence Cu/CuSO₄) attendues selon l'environnement d'exposition du béton armé dans le cas d'une corrosion uniforme. Ces gammes sont présentées dans le tableau suivant :

Gammes de potentiel d'électrode de l'acier dans du béton armé (mV, électrode de référence Cu/CuSO₄)	
Béton saturé en eau sans oxygène	-900 à -1 000
Béton humide contaminé par des chlorures	-400 à -600
Béton humide sans chlorure	+100 à -200
Béton humide carbonaté	+100 à -400
Béton sec carbonaté	+200 à 0
Béton sec	+200 à 0

- les variations de potentiel d'électrode (par rapport à une électrode de référence Cu/CuSO₄) mesurées sont utilisées pour évaluer le risque de corrosion des armatures, d'après l'action de recherche Européenne COST 509: « Une première estimation de l'état de corrosion peut être faite à partir de l'observation des gradients de potentiel : des différences de potentiel supérieures à 150 à 200 mV indiquent la corrosion des zones avec les potentiels les plus bas. ».

L'appareil de mesure utilisé est un corrosimètre développé par la société PROCEQ : voltmètre à haute impédance (type Canin) et électrode au cuivre-sulfate de cuivre (Cu/CuSO₄).

• **Sondage destructif pour réaliser une autopsie visuelle de l'état et du faciès de corrosion des armatures dégagées**

Les sondages sont réalisés au marteau piqueur sur différentes zones des structures afin de vérifier le ferrailage existant. Au préalable, le support est analysé au pachomètre afin de ne pas couper ou altérer les armatures en place.

• **Prélèvement**

Des prélèvements sont effectués par meulage, par carottage ou par poudre (à la perceuse sur différentes profondeurs) au niveau des zones de diagnostic, afin de réaliser des essais en laboratoire. Ils sont rebouchés au mortier riche à prise rapide pendant l'intervention.

• **Rebouchage**

Tous les sondages et prélèvements sont rebouchés au mortier riche à prise rapide et à retrait compensé (LANKOREP 735 de Parexlanko).

• **Mesure de la masse volumique apparente et de la porosité accessible à l'eau**

Cet essai est effectué selon la norme NF P18-459 (« *Essai pour béton durci - Essai de porosité et de masse volumique* », 2010) ou selon le mode opératoire recommandé par l'AFPC-AFREM (1997)..

Le protocole de cet essai est le suivant :

- l'échantillon est placé dans une cloche à vide pendant 4h,
- l'échantillon est imbibé d'eau sous vide pendant 44h,
- l'échantillon est pesé dans l'eau (pesée hydrostatique) et dans l'air,
- étuvage de l'échantillon à 105°C pendant 24h,
- pesée de l'échantillon dans l'air après 3h de refroidissement.

La masse volumique et la porosité sont calculées à partir des formules suivantes :

$$\text{Masse volumique apparente: } d = \frac{Ms}{Ma - Ma'} \text{ (en kg/m}^3\text{)}$$

Avec :

- Ms= masse sec après étuvage
- Ma= masse dans l'air après imbibition sous vide
- Ma'= masse dans l'eau après imbibition sous vide

$$\text{Porosité accessible à l'eau: } P(\%) = \frac{Ma - Ms}{Ma - Ma'} * 100 \text{ (en \%)}$$

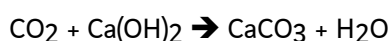
Avec :

- Ms= masse sec après étuvage
- Ma= masse dans l'air après imbibition sous vide
- Ma'= masse dans l'eau après imbibition sous vide

• Mesure de la profondeur de carbonatation

Cet essai est effectué selon la norme NF EN 14630 (« Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton - Méthodes d'essais - Mesurage de la profondeur de carbonatation d'un béton armé par la méthode phénolphthaleïne », 2007).

La carbonatation des composés hydratés du ciment par le dioxyde de carbone de l'air réduit le pH de la solution interstitielle à une valeur telle que la pellicule d'oxyde passive protégeant l'acier n'est plus stable. Le film passif se détruit et la corrosion peut alors se développer en milieu aéré et humide. Le dioxyde de carbone atmosphérique réagit sur les différents hydrates, et principalement avec la portlandite, pour donner du carbonate de calcium comme produit final :



Pour le suivi de l'évolution de la carbonatation à l'intérieur du béton, on utilise une solution alcoolique de thymolphthaleïne (changement de couleur à des pH entre 9,5 et 10,3). La partie carbonatée du béton reste incolore et la partie non carbonatée prend une coloration bleue. L'essai est réalisé selon la procédure suivante :

- fendage de l'échantillon dans le sens de sa longueur,
- application de la solution de thymolphthaleïne,
- mesure de la profondeur de carbonatation.

• Dosage en ions chlorure libres du béton par potentiométrie (selon les recommandations du GranDuBé, 2007)

La mise en solution avant l'analyse par potentiométrie des ions chlorures libres s'effectue selon le protocole suivant (recommandations du GranDuBé, 2007) :

- mise en solution de l'échantillon de béton (broyé et tamisé à 315 µm) dans de l'eau déionisée,
- mise en suspension de l'échantillon par agitation magnétique pendant 3 minutes,
- ajout d'acide afin de stabiliser les ions mis en solution,
- filtrage de la solution avant titrage au nitrate d'argent.

• Dosage en ions chlorures totaux des bétons par potentiométrie (selon les recommandations du GranDuBé, 2007)

La mise en solution avant l'analyse par titrateur potentiométrique des ions chlorures totaux s'effectue selon le protocole suivant (recommandations du GranDuBé, 2007):

- > mise en solution de 5 g d'échantillon de béton (broyé et tamisé à 315 μm) dans 50 ml d'eau déionisée,
- > mise en suspension de l'échantillon par agitation magnétique pendant 2 minutes,
- > ajout de 100 ml de HNO_3 dilué
- > mise en suspension de l'échantillon par agitation magnétique pendant 30 minutes,
- > ajout de 100 ml d'eau déionisée,
- > titrage de la solution au nitrate d'argent

• Mesure du pH des bétons

Les mesures de pH sont réalisées sur les poudres de béton obtenues lors de la préparation des échantillons pour les dosages en ions solubles. Pour chaque échantillon, la poudre est mise en solution dans de l'eau déionisée (rapport poudre de béton / eau déionisée de 1:1). La mesure est effectuée, après équilibre entre la poudre et l'eau, à l'aide d'une sonde pH et d'un pH-mètre électronique.