




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

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

DIAGNOSTIC	
Type de mission : Diagnostic (D)	Date de réalisation : 25 Juillet 2023 (Vacation initiale) 24 Octobre 2023 (Vacation intermédiaire) 18 Janvier 2024 (Vacation intermédiaire) 16 Mai 2024 (Vacation intermédiaire) 09 Juillet 2024 (Vacation finale)

RAPPORT DE DIAGNOSTIC		
Référence : ORE3.J.0061-0034	Date de rédaction : 23 Septembre 2024	Version : Etude / Provisoire- / Validée
<p><u>Synthèse :</u></p> <p>Après une année de suivi, et la réalisation, d'un Diagnostic Pathologique orienté « Réaction Gonflement Interne » il apparait que les bétons des parements extérieurs du voile périphérique du Réservoir des Capucins, ne présente pas de Réaction d'Alcali Granulats.</p> <p>En revanche, il a pu être observé la présence d'aiguilles ettringite comprimées (faciès pathologique de l'ettringite) symptomatique d'une Réaction Sulfatique Interne. Notons que les teneurs en alcalins libérables (participants à la réaction) sont inférieurs à la valeur maximale précédemment mentionnée et que l'évolution des indices de fissuration ont pu, après une année de suivi, être qualifiés de négligeables. De ce fait, le phénomène semble aujourd'hui « stabilisé ». Ginger CEBTP recommande cependant la poursuite du suivi annuel des axes de fissuration tant que les travaux ne sont pas réalisés.</p>		

<p align="center">BDD Brest-Lorient – Inspections approfondies des bâtiments, des ouvrages de génie civil</p> <p align="center">Réservoirs des Capucins – Plateau des Capucins</p>					
A la demande et pour le compte du :			Ministère de la Défense – ESID de BREST A l'attention de M. KERMARREC Secrétariat général pour l'administration (SGA) Service d'infrastructure de la défense (SID) 15 bis, Avenue de l'Ecole Navale 29240 BREST CEDEX 9		
Marché : 2019 BSTSAI 2733 Bon de commande N° 32			Rapport : ORE3.J0061-0034		
Date	Rédigé par	Visa	Vérifié par	Visa	Domaine
18.09.2024	Chargé d'affaire : A. LETERRIER		Réfèrent Métier : L. BOURREAU		Pathologie
Ce dossier comprend 36 pages de texte et 1 annexe					
Indice	Date	Modifications			
1	20 Février 2024	<ul style="list-style-type: none"> Edition de la version étude. 			
2	23 Septembre 2024	<ul style="list-style-type: none"> Edition de la version provisoire en attente de validation 			

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

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

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION	4
2. DOCUMENTS REMIS POUR LA MISSION	4
3. DONNEES GENERALES.....	5
3.1 IDENTIFICATION DE L'OUVRAGE.....	5
3.2 CONDITIONS DES INTERVENTIONS	6
3.3 METHODOLOGIE ET PROGRAMME D'INVESTIGATIONS.....	6
3.4 PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DE.....	6
4. VIE DE L'OUVRAGE.....	7
4.1 CONSTRUCTION DE L'OUVRAGE	7
4.2 ACTIONS DE SURVEILLANCE	8
4.3 TRAVAUX D'ENTRETIEN ET DE REPARATION	8
4.4 INVESTIGATIONS COMPLEMENTAIRES	8
5. RESULTATS DES INVESTIGATIONS REALISEES SUR SITE.....	9
5.1 IMPLANTATION SCHEMATIQUE DES INVESTIGATIONS REALISEES SUR SITE.....	9
5.2 MESURES DE DETECTION DES ARMATURES.....	10
5.3 POSE, SUIVI ET ANALYSE DES AXES DE FISSURATION	12
5.3.1 AXE DE FISSURATION – T ₁ – ZONE VISUELLEMENT ALTEREE	12
5.3.2 AXE DE FISSURATION – T ₂ – ZONE VISUELLEMENT SAINE.....	18
5.3.3 AXE DE FISSURATION – T ₃ – ZONE VISUELLEMENT SAINE.....	24
6. RESULTATS DES ESSAIS ET DES ANALYSES EN LABORATOIRE.....	30
6.1 DESCRIPTION DES PRELEVEMENTS DE BETON PAR CAROTTAGES.....	30
6.2 EXAMENS VISUELS ET EXAMENS AU MICROSCOPE ELECTRONIQUE A BALAYAGE ORIENTE « REACTION DE GONFLEMENT INTERNE » DU BETON	31
6.3 DOSAGES EN ALCALINS LIBERABLES DU BETON	32
6.4 PROFIL DE PENETRATION EN IONS SULFATES DU BETON	33
7. SYNTHESE	35
7.1 RELEVÉ DES AXES DE FISSURATION	35
7.2 EXAMEN VISUEL ET ANALYSE AU MICROSCOPE ELECTRONIQUE A BALAYAGE ORIENTE RGI	35
7.3 DOSAGE EN ALCALINS LIBERABLES	36
7.4 PROFIL DE PENETRATIONS EN IONS SULFATES.....	36
8. AVIS SUR L'ETAT DE L'OUVRAGE	37

ANNEXE 1 : RAPPORT D'ESSAIS ET D'ANALYSES EN LABORATOIRE

1. INTRODUCTION

Ginger CEBTP – Agence de RENNES a été missionné pour réaliser une mission de Diagnostic Pathologique orienté « Réaction Gonflement Interne » des bétons des parements extérieurs du voile périphérique du Réservoir des Capucins (numéro de référencement de l'ouvrage non communiqué) situé sur le Plateau des Capucins de BREST (29), dans le cadre du marché n° 2019 BSTSAI 2733, accepté par Bon de Commande n°32 daté du 04 Juillet 2023.

Notons que la présente mission de Diagnostic Pathologique orienté « Réaction Gonflement Interne » des bétons des parements extérieurs du voile périphérique du Réservoir des Capucins fait suite aux préconisations d'investigations complémentaires mentionnées au sein du précédent rapport d'Inspection visuelle et de Diagnostic réalisé par nos soins dans le cadre du présent marché et référencé ORE3.J.0061-0027 en date du 01 Juin 2023.

2. DOCUMENTS REMIS POUR LA MISSION

Dans le cadre de la précédente mission d'Inspection visuelle et de Diagnostic réalisé par nos soins dans le cadre du présent marché et référencé ORE3.J.0061-0027 en date du 01 Juin 2023, les documents suivant nous ont été transmis :

Désignation	Description	Auteur	Date de réalisation
0 206 2 Réservoir des Capucins demi coupe armatures	Plan d'armature du réservoir en béton armé de 1400 m ³ Demi-coupe à l'échelle 1/20 ^{ème}	Non renseigné	18 Février 1947
0 206 3 réservoir des Capucins radier et coupole armatures	Plan d'armature du réservoir en béton armé de 1400 m ³ Plans du radier et de la coupole à l'échelle 1/20 ^{ème}	Non renseigné	21 Janvier 1947

Tableau 1 : Documents remis pour la mission

3. DONNEES GENERALES

3.1 Identification de l'ouvrage

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



Figure 1 : Localisation de l'ouvrage (source : www.geoportail.gouv.fr)



Photo 1 : Photographie de l'ouvrage (source : Ginger CEBTP)

3.2 Conditions des interventions

	25/01/2024	24/10/2024	18/01/2024	16/05/2024	09/07/2024
Vacation	Initiale	Intermédiaire	Intermédiaire	Intermédiaire	Finale
Composition de l'équipe de la mission	C. DEVAUX L. BOURREAU L. LASSAUZET	C. DEVAUX	R. SAUVEE M. LE MENACH	R. SAUVEE M. LE MENACH	R. SAUVEE G. PAILLARD
Moyens d'accès de la mission	A pied d'œuvre	A pied d'œuvre	A pied d'œuvre	A pied d'œuvre	A pied d'œuvre
Conditions atmosphériques	Eclaircie/Ensoleillé	Nuageux	Eclaircie/Ensoleillé	Nuageux	Nuageux
Incidents	Rien à signaler	Rien à signaler	Rien à signaler	Rien à signaler	Rien à signaler
Difficultés	Présence importante de végétation				

Tableau 2 : Conditions des interventions

3.3 Méthodologie et programme d'investigations

Le programme d'investigations a compris :

- Le traçage, le relevé initial (T_0) des axes de fissuration ainsi que les relevés trimestriels ($T_0 + 3$ mois, $T_0 + 6$ mois, $T_0 + 9$ mois et $T_0 + 12$ mois),
- La réalisation de 4 prélèvements de béton par carottage et de 2 prélèvements de poudre de béton depuis les parements extérieurs du voile périphérique en béton armé du réservoir,
- Des essais et des analyses en laboratoire :
 - 2 examens au Microscope Electronique à Balayage orienté « Réaction Gonflement Interne » du béton,
 - 2 dosages en alcalins libérables du béton,
 - 2 profils de pénétration en ions sulfates par la réalisation de dosages en ions sulfates à 3 profondeurs, associés à des dosages de la silice soluble du béton.

3.4 Principales caractéristiques de

Type de structure : Bâche au sol

Matériaux : Structure en béton armé

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

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

4. VIE DE L'OUVRAGE

4.1 Construction de l'ouvrage

L'ouvrage a été construit à la fin des années 1940 et possède une emprise au sol d'environ 265 m² pour une capacité de stockage de 1400 m³ (pour un trop plein situé à environ 4,60 m du radier). Un extrait du plan d'armatures du réservoir en béton armé de 1400 m³ demi-coupe à l'échelle 1/20^{ème} est présent ci-dessous. Notons que nos investigations ont été réalisées à hauteur d'homme à une hauteur comprise entre environ 1.00 m et 2.00 m à partir du terrain naturel.

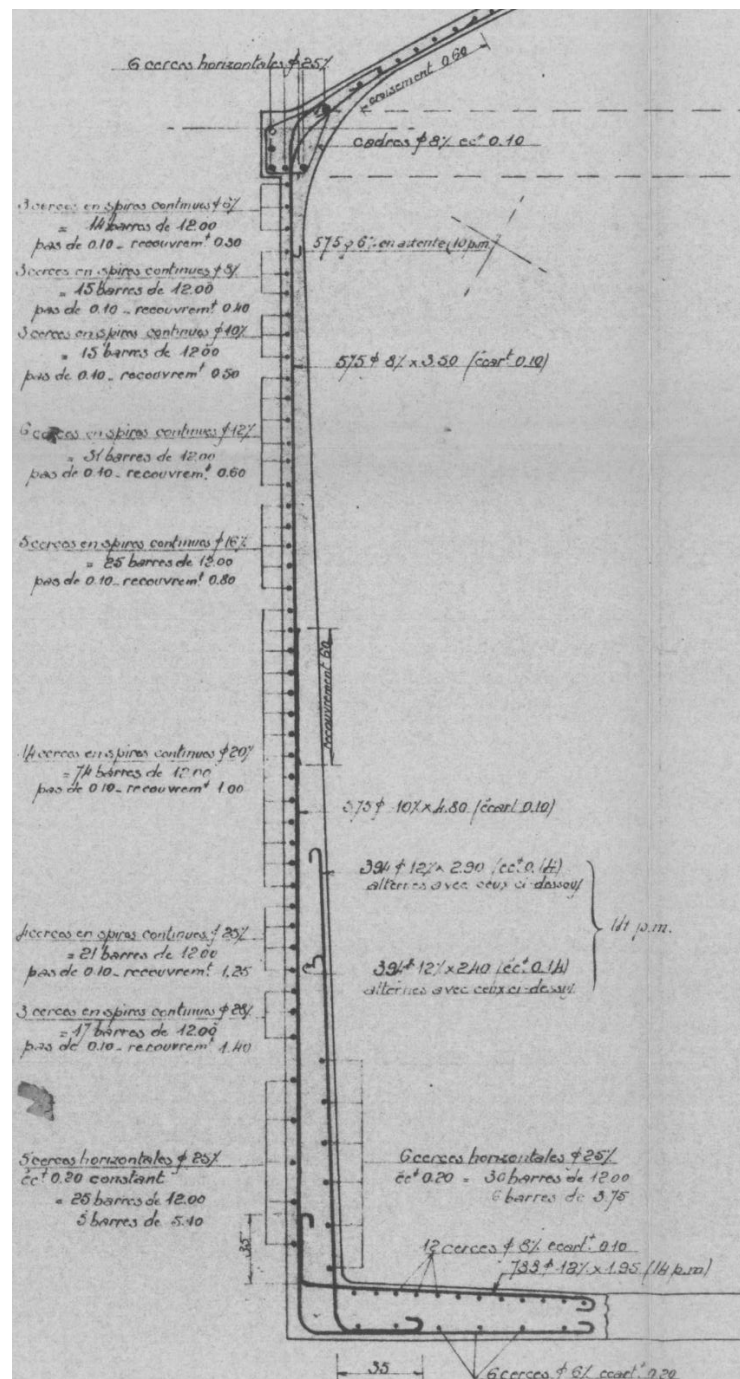


Figure 2 : Extrait du plan d'armatures du réservoir en béton armé de 1400 m³ demi-coupe à l'échelle 1/20^{ème}

4.2 Actions de surveillance

Date	Surveillance	Commentaires
2022	Mission d'Inspection visuelle et de Diagnostic	Préconisation de réalisation d'un diagnostic orienté « Réaction de Gonflement Interne » des bétons des parements extérieurs du voile périphérique de l'ouvrage

Tableau 3 : Précédentes actions de surveillance réalisées au niveau de l'ouvrage

Dans le cadre de la mission de Diagnostic Pathologique orienté « Réaction Gonflement Interne » des bétons des parements extérieurs du voile périphérique du Réservoir des Capucins (numéro de référencement de l'ouvrage non communiqué) situé sur le Plateau des Capucins de BREST (29), aucune Inspection visuelle n'a été réalisée. Cette dernière est à retrouver au sein du précédent rapport d'Inspection visuelle et de Diagnostic réalisé par nos soins dans le cadre du présent marché et référencé ORE3.J.0061-0027 en date du 01 Juin 2023.

La synthèse des conclusions du rapport d'Inspection visuelle et de Diagnostic référencé ORE3.J.0061-0027 en date du 01 Juin 2023 est rappelée ci-dessous :

- « En l'état, la stabilité de la structure n'est pas remise en cause mais des travaux de réparation, réhabilitation et de régénération des bétons armés doivent être réalisés ainsi que des investigations complémentaires,
- Le montant des travaux (hors pathologies détectées suite aux investigations complémentaires) est estimé à 300 000€ H.T. pour la structure contre un montant d'environ 500 000€ H.T. pour la reconstruction du même élément (hors dépose du précédent, désamiantage éventuel et études spécifiques),
- Une pathologie de type Réaction Gonflement Interne (RGI) est suspectée. Il conviendra de la caractériser (Réaction Alcali-Granulats ou Réaction Sulfatique Interne) puis de vérifier si son développement est fini ou non ».

4.3 Travaux d'entretien et de réparation

Date	Travaux effectués	Entreprise
-	-	-

Tableau 4 : Précédents travaux d'entretien et de réparation réalisés au niveau de l'ouvrage

4.4 Investigations complémentaires

Date	Investigations	Commentaires
-	-	-

Tableau 5 : Précédentes investigations complémentaires réalisés au niveau de l'ouvrage

5. RESULTATS DES INVESTIGATIONS REALISEES SUR SITE

Les résultats des investigations réalisées sur site dans le cadre de la présente mission de Diagnostic Pathologique orienté « Réaction Gonflement Interne » des bétons des parements extérieurs du voile périphérique du Réservoir des Capucins (numéro de référencement de l'ouvrage non communiqué) situé sur le Plateau des Capucins de BREST (29) sont présentés ci-dessous :

5.1 Implantation schématique des investigations réalisées sur site

L'implantation schématique des investigations réalisées sur site est présente ci-dessous :

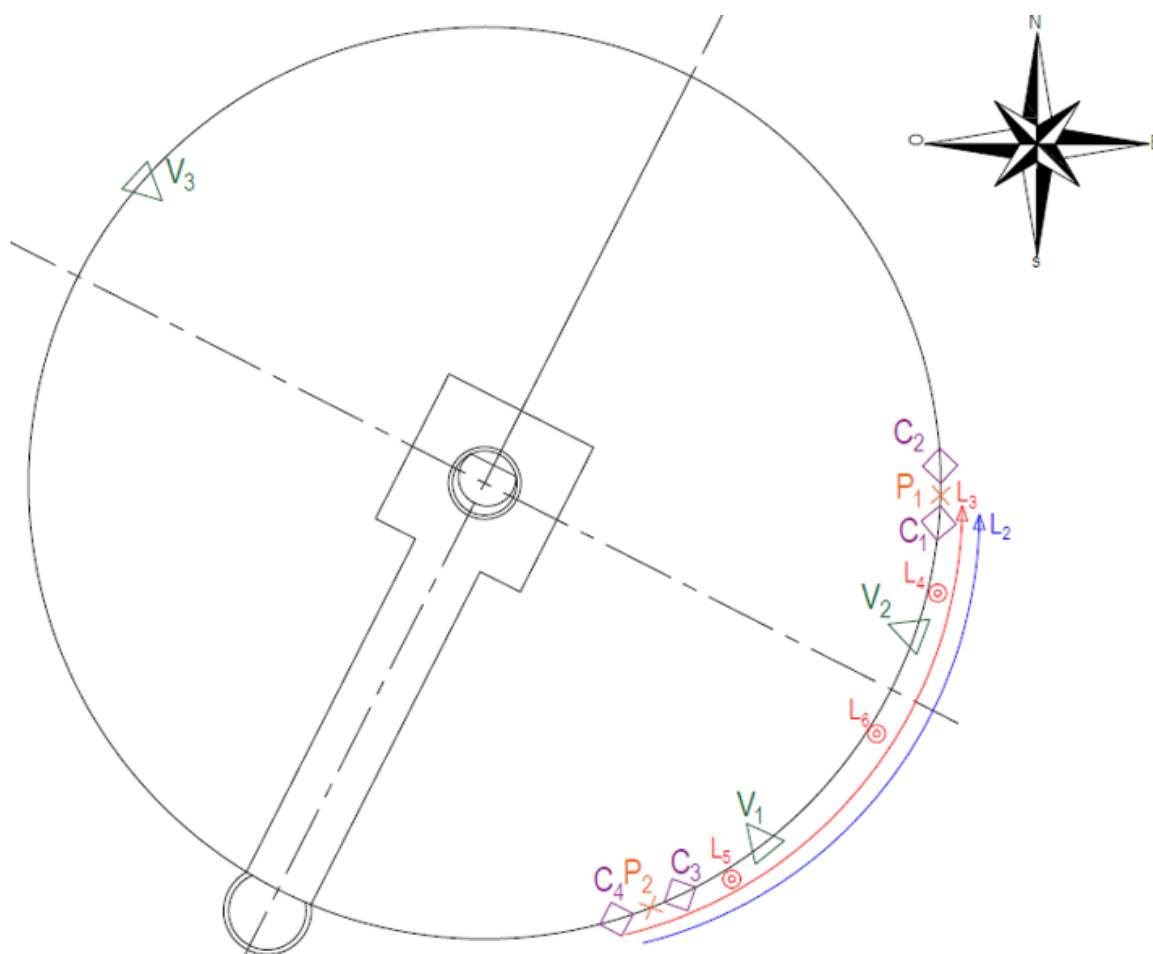


Figure 3 : Implantation schématique des investigations réalisées sur site

Légende :

	Prélèvement par carottage
	Prélèvement par percement
	Trièdres
	Enregistrement radar - Ligne verticale
	Enregistrement radar - Ligne horizontale $\approx 1,10$ m ht
	Enregistrement radar - Ligne horizontale $\approx 1,90$ m ht

5.2 Mesures de détection des armatures

Les mesures de détection des armatures ont été réalisées à l'aide d'un appareil de type « radar de structure » qui est basé sur la réflectométrie des ondes électromagnétiques. Cette méthode non destructive permet de déterminer le positionnement et l'enrobage du ferrailage afin entre autres de limiter l'impact des carottages sur la structure en place.

Les résultats des mesures de détection des armatures sont présentés dans les tableaux suivants :

Armatures		Verticales	
Nuance	N.C.	Diamètre	N.C.
Nombre de détections d'armature			43
Enrobage (mm)			
Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
80	107	93	8
Espacement (cm)			
Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
7.6	14.6	11.0	1.5

Tableau 6 : Exploitation du radargramme L2

Armatures		Horizontales	
Nuance	N.C.	Diamètre	N.C.
Nombre de détections d'armature			14
Enrobage (mm)			
Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
64	94	79	8
Espacement (cm)			
Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
8.7	28.4	13.4	5.2

Tableau 8 : Exploitation du radargramme L4

Armatures		Verticales	
Nuance	N.C.	Diamètre	N.C.
Nombre de détections d'armature			57
Enrobage (mm)			
Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
52	112	85	16
Espacement (cm)			
Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
8.2	18.9	11.3	1.9

Tableau 7 : Exploitation du radargramme L3

Armatures		Horizontales	
Nuance	N.C.	Diamètre	N.C.
Nombre de détections d'armature			16
Enrobage (mm)			
Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
39	64	51	8
Espacement (cm)			
Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
6.6	27.9	13.2	6.3

Tableau 9 : Exploitation du radargramme L5

Armatures		Horizontales	
Nuance	N.C.	Diamètre	N.C.
Nombre de détections d'armature			17
Enrobage (mm)			
Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
44	66	56	8
Espacement (cm)			
Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
6.5	29.5	12.4	5.6

Tableau 10 : Exploitation du radargramme L6

Une synthèse des résultats des mesures de détection des armatures est présentée dans le tableau suivant :

Orientation des armatures	Verticale		Horizontale	
Type	Non déterminées dans le cadre de la présente mission		Non déterminées dans le cadre de la présente mission	
Diamètre (mm)				
Nombre d'armatures détectées	123		46	
	Enrobage (mm)	Espacement (cm)	Enrobage (mm)	Espacement (cm)
Minimum	53	≈ 8	39	≈ 7
Maximum	112	≈ 19	94	≈ 30
Moyenne	85 à 93	≈ 11	51 à 79	≈ 12 à 13
Ecart-type	8 à 16	≈ 2	7 à 8	≈ 5 à 6

Tableau 11 : Synthèse des résultats des mesures de détection des armatures

Commentaires :

Notons que dans le cadre de la mission de Diagnostic Pathologique orienté « Réaction Gonflement Interne » des bétons des parements extérieurs du voile périphérique du Réservoir des Capucins (numéro de référencement de l'ouvrage non communiqué) situé sur le Plateau des Capucins de BREST (29), il n'a pas été réalisé de sondages destructifs.


De ce fait, les résultats des mesures de détection des armatures tient compte de la constante diélectrique du matériau déterminée dans le cadre de la mission d'Inspection visuelle et de Diagnostic sur les parements intérieurs de l'ouvrage réalisée par nos soins dans le cadre du présent marché et référencé ORE3.J.0061-0027 en date du 01 Juin 2023. Les résultats obtenus sont uniquement donnés à titre indicatif.

Notons que les enrobages sont donnés par rapport aux parements extérieurs de l'ouvrage et inclus également la présence du mortier de surface tel que mentionnées lors de la description des carottes de béton.

5.3 Pose, suivi et analyse des axes de fissuration

5.3.1 Axe de fissuration – T₁ – Zone visuellement altérée

- Axe de fissuration T₁ – Premier relevé T₀ – 25 Juillet 2023 :

	INDICE DE FISSURATION Feuille de relevé - Méthode d'essai LPC n° 47	Enregistrement :	/
		V1.0 - 04/07/2023	
		Processus :	AFFAIRES

Références internes Ginger CEBTP	N° de dossier :	ORE3.J.0061.0034
	Client :	ESID de Brest
	Dénomination du dossier :	Réservoir des Capucins - Diagnostic orienté RGI

Identification et Suivi interne Ginger CEBTP	
Agence :	Nantes
Date du relevé :	25/07/2023
Collaborateur "Terrain" :	C. DEVAUX / L. LASSAUZET
Date d'interprétation :	26/07/2023
Collaborateur "Bureau" :	L. LASSAUZET

Description de la zone investiguée	
Ouvrage / Bâtiment :	Réservoir des Capucins
Partie d'ouvrage / de bâtiment :	Voile périphérique extérieur
Dénomination axe de fissuration :	T ₁ - Zone visuellement altérée

Conditions d'intervention	
Conditions météorologiques :	Eclaircie - Ensoleillé
Température :	16 à 19°C
Moyens d'accès :	/
Difficultés d'accès :	/

Fissuration orientée ?	Non
Si oui, indiquer l'axe perpendiculaire aux fissures :	



Intervalle		1		2		3		4		5		Longueur axe (m)	Nombre de fissure sur axe	Ouverture (mm)			Indice de Fissuration (IF)	
		0-10 cm		10-20 cm		20-30 cm		30-40 cm		40-50 cm				Totale cumulée	Moyenne par fissure	Moyenne par mètre		
		6		7		8		9		10								
		50-60 cm		60-70 cm		70-80 cm		80-90 cm		90-100 cm								
		11		12		13		14 :										
		100-110 cm		110-120 cm		120-130 cm		130-141 cm										
Axe	OA	0.2							µf				1.0	3	0.40	0.13	0.40	
					0.1					µf								
	OB												1.0	1	0.10	0.10	0.10	
							0.1											
	OC	0.2					0.1		0.1	0.1		µf	µf	1.4	5	0.60	0.12	0.43
							µf					0.1						
	AB																	
		0.1				µf						µf		1.4	4	0.50	0.13	0.36
						0.2												

- Axe de fissuration T₁ – Deuxième relevé T₀ + 3 mois – 24 Octobre 2023 :



	INDICE DE FISSURATION Feuille de relevé - Méthode d'essai LPC n° 47		Enregistrement : /									
			V1.0 - 04/07/2023									
			Processus : AFFAIRES									
Références internes Ginger CEBTP	N° de dossier :	ORE3.J.0061.0034										
	Client :	ESID de Brest										
	Dénomination du dossier :	Réservoir des Capucins - Diagnostic orienté RGI										
Identification et Suivi interne Ginger CEBTP												
Agence :		Nantes										
Date du relevé :		24/10/2023										
Collaborateur "Terrain" :		C. DEVAUX										
Date d'interprétation :		25/10/2023										
Collaborateur "Bureau" :		L. LASSAUZET										
Description de la zone investiguée												
Ouvrage / Bâtiment :		Réservoir des Capucins										
Partie d'ouvrage / de bâtiment :		Voile périphérique extérieur										
Dénomination axe de fissuration :		T ₁ - Zone visuellement altérée										
Conditions d'intervention												
Conditions météorologiques :		Nuageux										
Température :		7 - 8°C										
Moyens d'accès :		/										
Difficultés d'accès :		/										
Fissuration orientée ?		Non										
Si oui, indiquer l'axe perpendiculaire aux fissures :												
Intervalle	1	2	3	4	5	Longueur axe (m)	Nombre de fissure sur axe	Ouverture (mm)			Indice de Fissuration (IF)	
	6	7	8	9	10			Totale cumulée	Moyenne par fissure	Moyenne par mètre		
	50-60 cm	60-70 cm	70-80 cm	80-90 cm	90-100 cm							
	11	12	13	14								
	10-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	30-40 cm	40-50 cm							
Axe	OA	0.3					1.0	3	0.50	0.17	0.50	0.39
	OB						1.0	1	0.20	0.20	0.20	
	OC	0.2					1.4	4	0.50	0.13	0.36	
	AB	μf					1.4	5	0.70	0.14	0.50	
		0.1										
Observations :		Présence de calcite sur fissures										
Conclusions du relevé vis-à-vis : - De la Méthode d'essai LPC n° 47 "Détermination de l'indice de fissuration d'un parement de béton" de Octobre 1997 - Du Guide technique LCPC "Aide à la gestion des ouvrages atteints de réactions de gonflement interne" de Novembre 2003												
Valeur Indice de Fissuration (IF) :		0.39		Importance de la fissuration :		Négligeable						
Fissure isolée - Ouverture maximale (mm) :		0.3										
Échéance de relevé :		Annuelle : 12 mois										


Tableau 13 : Relevé de l'Axe de fissuration T1 à T₀ + 3 mois

- Axe de fissuration T_1 – Troisième relevé à $T_0 + 6$ mois – 18 Janvier.2024 :

	INDICE DE FISSURATION Feuille de relevé - Méthode d'essai LPC n° 47	Enregistrement :	/
		V1.0 - 04/07/2023	
		Processus :	AFFAIRES

Références internes Ginger CEBTP	N° de dossier :	ORE3.J.0061.0034
	Client :	ESID de Brest
	Dénomination du dossier :	Réservoir des Capucins - Diagnostic orienté RGI

Identification et Suivi interne Ginger CEBTP	
Agence :	Nantes
Date du relevé :	18/01/2024
Collaborateur "Terrain" :	Clément DEVAUX
Date d'interprétation :	23/01/2024
Collaborateur "Bureau" :	Antony LETERRIER

Description de la zone investiguée	
Ouvrage / Bâtiment :	Réservoir des Capucins
Partie d'ouvrage / de bâtiment :	Voile périphérique extérieur
Dénomination axe de fissuration :	T_1 - Zone visuellement altérée

Conditions d'intervention	
Conditions météorologiques :	Soleil
Température :	5°C
Moyens d'accès :	/
Difficultés d'accès :	/

Fissuration orientée ?	Non
Si oui, indiquer l'axe perpendiculaire aux fissures :	



Intervalle		1 0-10 cm			2 10-20 cm			3 20-30 cm			4 30-40 cm			5 40-50 cm			Longueur axe (m)	Nombre de fissure sur axe	Ouverture (mm)			Indice de Fissuration (IF)
		6 50-60 cm			7 60-70 cm			8 70-80 cm			9 80-90 cm			10 90-100 cm					Totale cumulée	Moyenne par fissure	Moyenne par mètre	
		11 100-110 cm			12 110-120 cm			13 120-130 cm			14 : 130-141 cm											
Axe	OA	0.3										μf					1.0	3	0.50	0.17	0.50	0.43
	OB											μf					1.0	1	0.20	0.20	0.20	
	OC	0.1										0.1					1.4	5	0.50	0.10	0.36	
						0.1																
	AB	0.1				0.1							0.2					1.4	6	0.90	0.15	
												0.2										

Observations :	Présence de calcite sur fissures
----------------	----------------------------------

Conclusions du relevé vis-à-vis :			
- De la Méthode d'essai LPC n° 47 "Détermination de l'indice de fissuration d'un parement de béton" de Octobre 1997 - Du Guide technique LPC "Aide à la gestion des ouvrages atteints de réactions de gonflement interne" de Novembre 2003			
Valeur Indice de Fissuration (IF) :	0.43	Importance de la fissuration :	Négligeable
Fissure isolée - Ouverture maximale (mm) :	0.3		
Échéance de relevé :		Annuelle : 12 mois	

Tableau 14 : Relevé de l'Axe de fissuration T_1 à $T_0 + 6$ mois

- Axe de fissuration T₁ – Troisième relevé à T₀ + 9 mois – 16 Mai.2024 :




	INDICE DE FISSURATION Feuille de relevé - Méthode d'essai LPC n° 47		Enregistrement : /									
			V1.0 - 04/07/2023									
			Processus : AFFAIRES									
Références internes Ginger CEBTP	N° de dossier :	ORE3.J.0061.0034										
	Client :	ESID de Brest										
	Dénomination du dossier :	Réservoir des Capucins - Diagnostic orienté RGI										
Identification et Suivi interne Ginger CEBTP												
Agence :		Nantes										
Date du relevé :		16/05/2024										
Collaborateur "Terrain" :		Régis SAUVEE										
Date d'interprétation :		18/09/2024										
Collaborateur "Bureau" :		Antony LETERRIER										
Description de la zone investiguée												
Ouvrage / Bâtiment :		Réservoir des Capucins										
Partie d'ouvrage / de bâtiment :		Voile périphérique extérieure										
Dénomination axe de fissuration :		T ₁ - Zone visuellement altérée										
Conditions d'intervention												
Conditions météorologiques :		Nuageux										
Température :		17°C										
Moyens d'accès :		/										
Difficultés d'accès :		/										
Fissuration orientée ?		Non										
Si oui, indiquer l'axe perpendiculaire aux fissures :												
												
Intervalle	1	2	3	4	5	Longueur axe (m)	Nombre de fissure sur axe	Ouverture (mm)			Indice de Fissuration (IF)	
	6	7	8	9	10			Totale cumulée	Moyenne par fissure	Moyenne par mètre		
	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	30-40 cm	40-50 cm							
	50-60 cm	60-70 cm	70-80 cm	80-90 cm	90-100 cm							
	11	12	13	14								
	100-110 cm	110-120 cm	120-130 cm	130-141 cm								
Axe	OA	0.3					1.0	3	0.50	0.17	0.50	0.39
	OB						1.0	1	0.20	0.20	0.20	
	OC	0.1			0.2		1.4	5	0.50	0.10	0.36	
			0.1									
	AB	0.1	0.1				1.4	4	0.70	0.18	0.50	
			0.3									
Observations :		Présence de calcite sur fissures										
Conclusions du relevé vis-à-vis : - De la Méthode d'essai LPC n° 47 "Détermination de l'indice de fissuration d'un parement de béton" de Octobre 1997 - Du Guide technique LCPC "Aide à la gestion des ouvrages atteints de réactions de gonflement interne" de Novembre 2003												
Valeur Indice de Fissuration (IF) :		0.39		Importance de la fissuration :		Négligeable						
Fissure isolée - Ouverture maximale (mm) :		0.3										
Échéance de relevé :		Annuelle : 12 mois										

Tableau 15 : Relevé de l'Axe de fissuration T1 à T₀ + 9 mois

• Axe de fissuration T₁ – Troisième relevé à T₀ + 12 mois – 09 Juillet 2024 :

	INDICE DE FISSURATION Feuille de relevé - Méthode d'essai LPC n° 47	Enregistrement :	/
		V1.0 - 04/07/2023	
		Processus :	AFFAIRES

Références internes GINGER CEBTP	N° de dossier :	ORE3.J.0061.0034
	Client :	ESID de Brest
	Dénomination du dossier :	Réservoir des Capucins - Diagnostic orienté RGI

Identification et Suivi interne GINGER CEBTP	
Agence :	Nantes
Date du relevé :	09/07/2024
Collaborateur "Terrain" :	Régis SAUVEE
Date d'interprétation :	18/09/2024
Collaborateur "Bureau" :	Antony LETERRIER

Description de la zone investiguée	
Ouvrage / Bâtiment :	Réservoir des Capucins
Partie d'ouvrage / de bâtiment :	Voile périphérique extérieur
Dénomination axe de fissuration :	T ₁ - Zone visuellement altérée

Conditions d'intervention	
Conditions météorologiques :	Nuageux
Température :	19°C
Moyens d'accès :	/
Difficultés d'accès :	/

Fissuration orientée ?	Non
Si oui, indiquer l'axe perpendiculaire aux fissures :	



Intervalle		1 0-10 cm			2 10-20 cm			3 20-30 cm			4 30-40 cm			5 40-50 cm			Longueur axe (m)	Nombre de fissure sur axe	Ouverture (mm)			Indice de Fissuration (IF)
		6 50-60 cm			7 60-70 cm			8 70-80 cm			9 80-90 cm			10 90-100 cm					Totale cumulée	Moyenne par fissure	Moyenne par mètre	
		11 100-110 cm			12 110-120 cm			13 120-130 cm			14 : 130-141 cm											
Axe	OA	0.3									μ ^f						1.0	3	0.50	0.17	0.50	0.39
	OB										μ ^f						1.0	1	0.20	0.20	0.20	
	OC	0.1							0.1			0.1					1.4	5	0.50	0.10	0.36	
						0.1																
	AB	0.1				0.1					μ ^f					0.2		1.4	4	0.70	0.18	

Observations :	Présence de calcaire sur fissures
----------------	-----------------------------------

Conclusions du relevé vis-à-vis :			
- De la Méthode d'essai LPC n° 47 "Détermination de l'indice de fissuration d'un parement de béton" de Octobre 1997			
- Du Guide technique LCPC "Aide à la gestion des ouvrages atteints de réactions de gonflement interne" de Novembre 2003			
Valeur Indice de Fissuration (IF) :	0.39	Importance de la fissuration :	Négligeable
Fissure isolée - Ouverture maximale (mm) :	0.3		
Échéance de relevé :	Annuelle : 12 mois		

Tableau 16 : Relevé de l'Axe de fissuration T1 à T₀ + 12 mois

• **Axe de fissuration T₁ – Interprétation :**

Le graphique présent ci-dessous illustre l'évolution de l'indice de fissuration au niveau du trièdre T1 en fonction du temps :

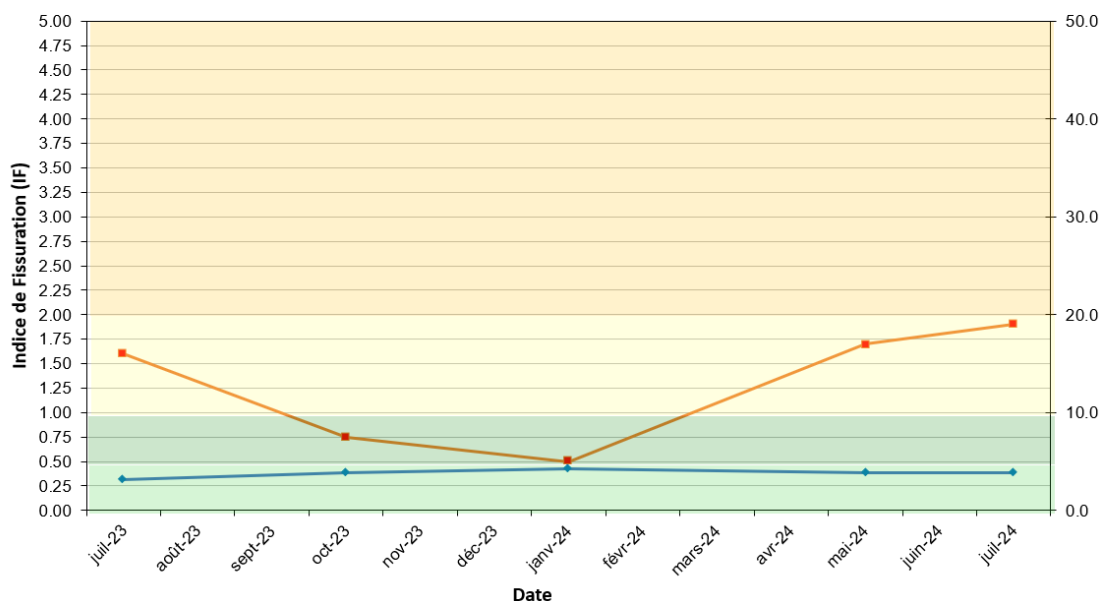


Tableau 17 : Evolution de l'indice de fissuration au niveau du trièdre T1 en fonction du temps

Légende :

Valeur IF	Importance de la fissuration
0 à 0.5	négligable
0.5 à 1	faible
1 à 2	modérée
2 à 5	forte
5 à 10	très forte
> 10	considérable

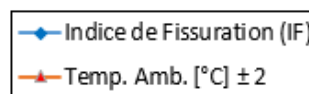


Figure 4 : Légende

Commentaires :

Entre le premier et le deuxième relevé, il peut être observé une augmentation de l'indice de fissuration de 0.07, passant de 0.32 à 0.39. L'ouverture totale cumulée des axes OA, AB et OB a augmenté durant cette période. L'ouverture cumulée de l'axe OC a, quant à elle, diminué.

Entre le second et le troisième relevé, il peut être observé une augmentation de l'indice de fissuration de 0.04, passant de 0.39 à 0.43. L'ouverture totale cumulée des axes OA, OB et OC est resté identique durant cette période. L'ouverture cumulée de l'axe AB a, quant à elle, augmenté.

Entre le troisième et le quatrième relevé, il peut être observé une diminution de l'indice de fissuration de 0.04, passant de 0.43 à 0.39. L'ouverture totale cumulée des axes OA, OB et OC est resté identique durant cette période. L'ouverture cumulée de l'axe AB a, quant à elle, diminué.

Entre le quatrième et le cinquième et dernier relevé, il peut être observé une stabilisation de l'indice de fissuration à 0.39. L'ouverture totale cumulée des axes OA, OB OC et AB est resté identique durant cette période.

En tenant compte de ces éléments et selon la méthode d'essais technique LPC n°47 dénommé « Détermination de l'indice de fissuration d'un parement de béton », l'indice de fissuration est compris entre 0.32 et 0.43 est peut ainsi, être qualifié de négligeable au 09 Juillet 2024 après une année de suivi.

5.3.2 Axe de fissuration – T₂ – Zone visuellement saine

- Axe de fissuration T₂ – Premier relevé à T₀ – 25 Juillet 2023 :




	INDICE DE FISSURATION Feuille de relevé - Méthode d'essai LPC n° 47		Enregistrement : /														
			V1.0 - 04/07/2023														
			Processus : AFFAIRES														
Références internes Ginger CEBTP	N° de dossier :		ORE3.J.0061.0034														
	Client :		ESID de Brest														
	Dénomination du dossier :		Réservoir des Capucins - Diagnostic orienté RGI														
Identification et Suivi interne Ginger CEBTP																	
Agence :		Nantes															
Date du relevé :		25/07/2023															
Collaborateur "Terrain" :		C. DEVAUX / L. LASSAUZET															
Date d'interprétation :		26/07/2023															
Collaborateur "Bureau" :		L. LASSAUZET															
Description de la zone investiguée																	
Ouvrage / Bâtiment :		Réservoir des Capucins															
Partie d'ouvrage / de bâtiment :		Voile périphérique extérieure															
Dénomination axe de fissuration :		T ₂ - Zone visuellement saine															
Conditions d'intervention																	
Conditions météorologiques :		Eclaircie - Ensoleillé															
Température :		16 à 19°C															
Moyens d'accès :		/															
Difficultés d'accès :		/															
Fissuration orientée ?		Non															
Si oui, indiquer l'axe perpendiculaire aux fissures :																	
																	
Intervalle	1 0-10 cm		2 10-20 cm		3 20-30 cm		4 30-40 cm		5 40-50 cm		Longueur axe (m)	Nombre de fissure sur axe	Ouverture (mm)			Indice de Fissuration (IF)	
	6 50-60 cm		7 60-70 cm		8 70-80 cm		9 80-90 cm		10 90-100 cm				Totale cumulée	Moyenne par fissure	Moyenne par mètre		
	11 100-110 cm		12 110-120 cm		13 120-130 cm		14 130-141 cm										
Axe	OA	µf					µf					1.0	0	0.00	0.00	0.00	0.15
	OB	0.1					0.1					1.0	3	0.30	0.10	0.30	
	OC									0.1		1.4	2	0.20	0.10	0.14	
							0.1					1.4	2	0.20	0.10	0.14	
	AB	0.1										1.4	2	0.20	0.10	0.14	
Observations :		Présence de calcite sur fissures															
Conclusions du relevé vis-à-vis : - De la Méthode d'essai LPC n° 47 "Détermination de l'indice de fissuration d'un parement de béton" de Octobre 1997 - Du Guide technique LCPC "Aide à la gestion des ouvrages atteints de réactions de gonflement interne" de Novembre 2003																	
Valeur Indice de Fissuration (IF) :		0.15		Importance de la fissuration :				Négligeable									
Fissure isolée - Ouverture maximale (mm) :		0.1															
Échéance de relevé :		Annuelle : 12 mois															

Tableau 18 : Relevé de l'Axe de fissuration T₂ à T₀

- Axe de fissuration T₂ – Deuxième relevé T₀ + 3 mois – 24 Octobre 2023 :

	INDICE DE FISSURATION Feuille de relevé - Méthode d'essai LPC n° 47	Enregistrement :	/
		V1.0 - 04/07/2023	
		Processus :	AFFAIRES

Références internes Ginger CEBTP	N° de dossier :	ORE3.J.0061.0034
	Client :	ESID de Brest
	Dénomination du dossier :	Réservoir des Capucins - Diagnostic orienté RGI

Identification et Suivi interne Ginger CEBTP	
Agence :	Nantes
Date du relevé :	24/10/2023
Collaborateur "Terrain" :	C. DEVAUX
Date d'interprétation :	25/10/2023
Collaborateur "Bureau" :	L. LASSAUZET

Description de la zone investiguée	
Ouvrage / Bâtiment :	Réservoir des Capucins
Partie d'ouvrage / de bâtiment :	Voile périphérique extérieur
Dénomination axe de fissuration :	T ₂ - Zone visuellement saine

Conditions d'intervention	
Conditions météorologiques :	Nuageux
Température :	7 - 8 °C
Moyens d'accès :	/
Difficultés d'accès :	/

Fissuration orientée ?	Non
Si oui, indiquer l'axe perpendiculaire aux fissures :	




Intervalle		1		2		3		4		5		Longueur axe (m)	Nombre de fissure sur axe	Ouverture (mm)			Indice de Fissuration (IF)
		0-10 cm		10-20 cm		20-30 cm		30-40 cm		40-50 cm				Totale cumulée	Moyenne par fissure	Moyenne par mètre	
		6	7	8	9	10											
		50-60 cm		60-70 cm		70-80 cm		80-90 cm		90-100 cm							
		11		12		13		14 :									
		100-110 cm		110-120 cm		120-130 cm		130-141 cm									
Axe	OA	µf					µf					1.0	0	0.00	0.00	0.00	
	OB	0.1					µf			0.1		1.0	2	0.20	0.10	0.20	
	OC										0.1	1.4	1	0.10	0.10	0.07	
	AB						µf					1.4	1	0.10	0.10	0.07	
		0.1															

Observations :	Présence de calcite sur fissures
----------------	----------------------------------

Conclusions du relevé vis-à-vis :			
- De la Méthode d'essai LPC n° 47 "Détermination de l'indice de fissuration d'un parement de béton" de Octobre 1997			
- Du Guide technique LCPC "Aide à la gestion des ouvrages atteints de réactions de gonflement interne" de Novembre 2003			
Valeur Indice de Fissuration (IF) :	0.09	Importance de la fissuration :	Négligeable
Fissure isolée - Ouverture maximale (mm) :	0.1		
Échéance de relevé :		Annuelle : 12 mois	

Tableau 19 : Relevé de l'Axe de fissuration T₂ à T₀ + 3 mois

- Axe de fissuration T₂ – Troisième relevé à T₀ + 6 mois – 18 Janvier.2024 :

	INDICE DE FISSURATION Feuille de relevé - Méthode d'essai LPC n° 47		Enregistrement : /	
			V1.0 - 04/07/2023	
			Processus : AFFAIRES	


Références internes Ginger CEBTP	N° de dossier :	ORE3.J.0061.0034
	Client :	ESID de Brest
	Dénomination du dossier :	Réservoir des Capucins - Diagnostic orienté RGI

Identification et Suivi interne Ginger CEBTP	
Agence :	Nantes
Date du relevé :	18/01/2024
Collaborateur "Terrain" :	Clément DEVAUX
Date d'interprétation :	23/01/2024
Collaborateur "Bureau" :	Antony LETERRIER

Description de la zone investiguée	
Ouvrage / Bâtiment :	Réservoir des Capucins
Partie d'ouvrage / de bâtiment :	Voile périphérique extérieur
Dénomination axe de fissuration :	T ₂ - Zone visuellement saine

Conditions d'intervention	
Conditions météorologiques :	Soleil
Température :	5°C
Moyens d'accès :	/
Difficultés d'accès :	/

Fissuration orientée ?		Non
Si oui, indiquer l'axe perpendiculaire aux fissures :		



Intervalle	1		2		3		4		5		Longueur axe (m)	Nombre de fissure sur axe	Ouverture (mm)			Indice de Fissuration (IF)
	0-10 cm		10-20 cm		20-30 cm		30-40 cm		40-50 cm				Totale cumulée	Moyenne par fissure	Moyenne par mètre	
	6		7		8		9		10							
	50-60 cm		60-70 cm		70-80 cm		80-90 cm		90-100 cm							
Axe	11		12		13		14				1.0	0	0.00	0.00	0.00	
	100-110 cm		110-120 cm		120-130 cm		130-141 cm									
	OA		OB		OC		AB									
	0.1		0.1		0.1		0.1									
	μf					μf					1.0	0	0.00	0.00	0.00	
						μf					1.0	3	0.30	0.10	0.30	
						0.1					1.4	2	0.20	0.10	0.14	
						μf					1.4	2	0.20	0.10	0.14	
	0.1															

Observations :	Présence de calcite sur fissures
-----------------------	----------------------------------

Conclusions du relevé vis-à-vis :			
- De la Méthode d'essai LPC n° 47 "Détermination de l'indice de fissuration d'un parement de béton" de Octobre 1997			
- Du Guide technique LCPC "Aide à la gestion des ouvrages atteints de réactions de gonflement interne" de Novembre 2003			
Valeur Indice de Fissuration (IF) :	0.15	Importance de la fissuration :	Négligeable
Fissure isolée - Ouverture maximale (mm) :	0.1		
Échéance de relevé :	Annuelle : 12 mois		

Tableau 20 : Relevé de l'Axe de fissuration T₂ à T₀ + 6 mois

- Axe de fissuration T_2 – Troisième relevé à $T_0 + 9$ mois – 16 Mai.2024 :



	INDICE DE FISSURATION Feuille de relevé - Méthode d'essai LPC n° 47		Enregistrement :		/												
			V1.0 - 04/07/2023														
			Processus :		AFFAIRES												
Références internes GINGER CEBTP	N° de dossier :	ORE3.J.0061.0034															
	Client :	ESID de Brest															
	Dénomination du dossier :	Réservoir des Capucins - Diagnostic orienté RGI															
Identification et Suivi interne GINGER CEBTP																	
Agence :		Nantes															
Date du relevé :		16/05/2024															
Collaborateur "Terrain" :		Régis SAUVÉE															
Date d'interprétation :		18/09/2024															
Collaborateur "Bureau" :		Antony LETERRIER															
Description de la zone investiguée																	
Ouvrage / Bâtiment :		Réservoir des Capucins															
Partie d'ouvrage / de bâtiment :		Voile périphérique extérieur															
Dénomination axe de fissuration :		T_2 - Zone visuellement saine															
Conditions d'intervention																	
Conditions météorologiques :		Nuageux															
Température :		17°C															
Moyens d'accès :		/															
Difficultés d'accès :		/															
Fissuration orientée ?																	
Si oui, indiquer l'axe perpendiculaire aux fissures :					Non												
																	
Intervalle	1 0-10 cm		2 10-20 cm		3 20-30 cm		4 30-40 cm		5 40-50 cm		Longueur axe (m)	Nombre de fissure sur axe	Ouverture (mm)			Indice de Fissuration (IF)	
	6 50-60 cm		7 60-70 cm		8 70-80 cm		9 80-90 cm		10 90-100 cm				Totale cumulée	Moyenne par fissure	Moyenne par mètre		
	11 100-110 cm		12 110-120 cm		13 120-130 cm		14 130-141 cm										
Axe	OA	μf										1.0	0	0.00	0.00	0.00	0.11
	OB	0.1						0.1				1.0	3	0.30	0.10	0.30	
	OC									0.1		1.4	1	0.10	0.10	0.07	
	AB											1.4	1	0.10	0.10	0.07	
	0.1																
Observations :		Présence de calcite sur fissures															
Conclusions du relevé vis-à-vis : - De la Méthode d'essai LPC n° 47 "Détermination de l'indice de fissuration d'un parement de béton" de Octobre 1997 - Du Guide technique LCPC "Aide à la gestion des ouvrages atteints de réactions de gonflement interne" de Novembre 2003																	
Valeur Indice de Fissuration (IF) :		0.11		Importance de la fissuration :				Négligeable									
Fissure isolée - Ouverture maximale (mm) :		0.1															
Échéance de relevé :		Annuelle : 12 mois															

Tableau 21 : Relevé de l'Axe de fissuration T_2 à $T_0 + 9$ mois

• Axe de fissuration T₂ – Troisième relevé à T₀ + 12 mois – 09 Juillet 2024 :



	INDICE DE FISSURATION Feuille de relevé - Méthode d'essai LPC n° 47		Enregistrement : /														
			V1.0 - 04/07/2023														
			Processus : AFFAIRES														
Références internes Ginger CEBTP	N° de dossier :	ORE3.J.0061.0034															
	Client :	ESID de Brest															
	Dénomination du dossier :	Réservoir des Capucins - Diagnostic orienté RGI															
Identification et Suivi interne Ginger CEBTP																	
Agence :		Nantes															
Date du relevé :		09/07/2024															
Collaborateur "Terrain" :		Régis SAUVÉE															
Date d'interprétation :		18/09/2024															
Collaborateur "Bureau" :		Antony LETERRIER															
Description de la zone investiguée																	
Ouvrage / Bâtiment :		Réservoir des Capucins															
Partie d'ouvrage / de bâtiment :		Voile périphérique extérieur															
Dénomination axe de fissuration :		T ₂ - Zone visuellement saine															
Conditions d'intervention																	
Conditions météorologiques :		Nuageux															
Température :		19°C															
Moyens d'accès :		/															
Difficultés d'accès :		/															
Fissuration orientée ?		Non															
Si oui, indiquer l'axe perpendiculaire aux fissures :																	
																	
Intervalle	1 0-10 cm		2 10-20 cm		3 20-30 cm		4 30-40 cm		5 40-50 cm		Longueur axe (m)	Nombre de fissure sur axe	Ouverture (mm)			Indice de Fissuration (IF)	
	6 50-60 cm		7 60-70 cm		8 70-80 cm		9 80-90 cm		10 90-100 cm				Totale cumulée	Moyenne par fissure	Moyenne par mètre		
	11 100-110 cm		12 110-120 cm		13 120-130 cm		14 130-140 cm										
Axe	OA	uf					uf					1.0	0	0.00	0.00	0.00	0.09
	OB	0.1					uf			0.1		1.0	2	0.20	0.10	0.20	
	OC						uf				0.1	1.4	1	0.10	0.10	0.07	
	AB						uf					1.4	1	0.10	0.10	0.07	
	0.1																
Observations :		Présence de calcite sur fissures															
Conclusions du relevé vis-à-vis : - De la Méthode d'essai LPC n° 47 "Détermination de l'indice de fissuration d'un parement de béton" de Octobre 1997 - Du Guide technique LCPC "Aide à la gestion des ouvrages atteints de réactions de gonflement interne" de Novembre 2003																	
Valeur Indice de Fissuration (IF) :		0.09		Importance de la fissuration :				Négligeable									
Fissure isolée - Ouverture maximale (mm) :		0.1															
Échéance de relevé :		Annuelle : 12 mois															

Tableau 22 : Relevé de l'Axe de fissuration T₂ à T₀ + 12 mois

• **Axe de fissuration T₂ – Interprétation :**

Le graphique présent ci-dessous illustre l'évolution de l'indice de fissuration au niveau du trièdre T1 en fonction du temps :

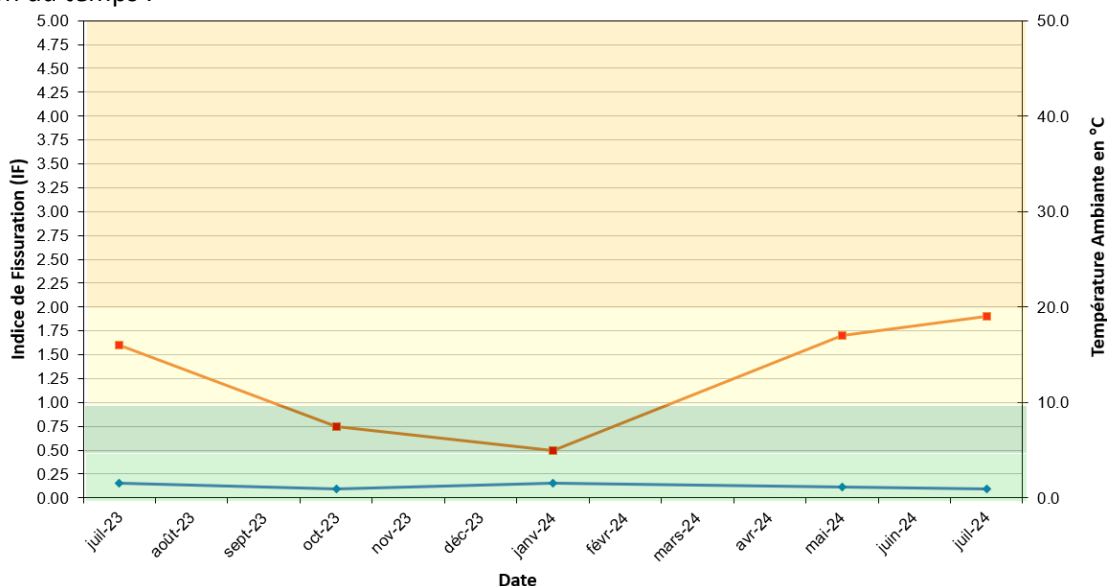


Tableau 23 : Evolution de l'indice de fissuration au niveau du trièdre T2 en fonction du temps

Légende :

Valeur IF	Importance de la fissuration
0 à 0.5	négligable
0.5 à 1	faible
1 à 2	modérée
2 à 5	forte
5 à 10	très forte
> 10	considérable

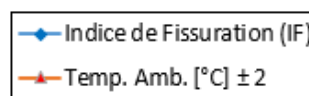


Figure 5 : Légende

Commentaires :

Entre le premier et le deuxième relevé, il peut être observé une diminution de l'indice de fissuration de 0.06, passant de 0.15 à 0.09. L'ouverture totale cumulée des axes OB, OC et AB a diminué durant cette période. L'ouverture cumulée de l'axe OA est restée identique.

Entre le deuxième et le troisième relevé, il peut être observé une augmentation de l'indice de fissuration de 0.06, passant de 0.09 à 0.15 (revenant à l'indice de fissuration obtenue lors relevé initial en date du 25 Juillet 2023). L'ouverture totale cumulée de l'ensemble des axes est constant durant cette période.


Entre le troisième et le quatrième relevé, il peut être observé une diminution de l'indice de fissuration de 0.04, passant de 0.15 à 0.11. L'ouverture totale cumulée des axes OA et OB est resté constant durant cette période. L'ouverture cumulée des axes OC et AB a, quant à elle, diminué.

Entre le quatrième et le cinquième et dernier relevé, il peut être observé une diminution de l'indice de fissuration de 0.02, passant de 0.09 à 0.15. L'ouverture totale cumulée des axes OA, OC et AB est resté constant durant cette période. L'ouverture cumulée de l'axe OB a, quant à elle, diminué.

En tenant compte de ces éléments et selon la méthode d'essais technique LPC n°47 dénommé « Détermination de l'indice de fissuration d'un parement de béton », l'indice de fissuration est compris entre 0.09 et 0.15 est peut ainsi, être qualifié de négligeable au 09 Juillet 2024.

5.3.3 Axe de fissuration – T₃ – Zone visuellement saine

- Axe de fissuration T₃– Premier relevé à T₀ – 25 Juillet 2023 :

	INDICE DE FISSURATION Feuille de relevé - Méthode d'essai LPC n° 47		Enregistrement : /	
			V1.0 - 04/07/2023	
			Processus : AFFAIRES	


Références internes Ginger CEBTP	N° de dossier :	ORE3.J.0061.0034
	Client :	ESID de Brest
	Dénomination du dossier :	Réservoir des Capucins - Diagnostic orienté RGI

Identification et Suivi interne Ginger CEBTP	
Agence :	Nantes
Date du relevé :	25/07/2023
Collaborateur "Terrain" :	C. DEVAUX / L. LASSAUZET
Date d'interprétation :	26/07/2023
Collaborateur "Bureau" :	L. LASSAUZET

Description de la zone investiguée	
Ouvrage / Bâtiment :	Réservoir des Capucins
Partie d'ouvrage / de bâtiment :	Voile périphérique extérieur
Dénomination axe de fissuration :	T ₃ - Zone visuellement altérée

Conditions d'intervention	
Conditions météorologiques :	Eclaircie - Ensoleillé
Température :	16 à 19°C
Moyens d'accès :	/
Difficultés d'accès :	/

Fissuration orientée ?	Non
Si oui, indiquer l'axe perpendiculaire aux fissures :	




Intervalle	1		2		3		4		5		Longueur axe (m)	Nombre de fissure sur axe	Ouverture (mm)			Indice de Fissuration (IF)
	0-10 cm		10-20 cm		20-30 cm		30-40 cm		40-50 cm				Totale cumulée	Moyenne par fissure	Moyenne par mètre	
	6	7	8	9	10											
	50-60 cm	60-70 cm	70-80 cm	80-90 cm	90-100 cm											
	11	12	13	14												
	100-110 cm	110-120 cm	120-130 cm	130-141 cm												
Axe	OA	μf				μf					1.0	0	0.00	0.00	0.00	0.17
	OB	0.2		0.2					μf		1.0	2	0.40	0.20	0.40	
	OC	0.2					μf				1.4	2	0.30	0.15	0.21	
		μf														
	AB			μf							1.4	1	0.10	0.10	0.07	

Observations :	Présence de réagréage
----------------	-----------------------

Conclusions du relevé vis-à-vis :			
- De la Méthode d'essai LPC n° 47 "Détermination de l'indice de fissuration d'un parement de béton" de Octobre 1997 - Du Guide technique LCPC "Aide à la gestion des ouvrages atteints de réactions de gonflement interne" de Novembre 2003			
Valeur Indice de Fissuration (IF) :	0.17	Importance de la fissuration :	Négligeable
Fissure isolée - Ouverture maximale (mm) :	0.2		
Échéance de relevé :	Annuelle : 12 mois		

Tableau 24 : Relevé de l'Axe de fissuration T₃ à T₀

- Axe de fissuration T₃ – Deuxième relevé T₀ + 3 mois – 24 Octobre 2023 :

	INDICE DE FISSURATION Feuille de relevé - Méthode d'essai LPC n° 47	Enregistrement :	/
		V1.0 - 04/07/2023	
		Processus :	AFFAIRES

Références internes Ginger CEBTP	N° de dossier :	ORE3.J.0061.0034
	Client :	ESID de Brest
	Dénomination du dossier :	Réservoir des Capucins - Diagnostic orienté RGI

Identification et Suivi interne Ginger CEBTP	
Agence :	Nantes
Date du relevé :	24/10/2023
Collaborateur "Terrain" :	C. DEVAUX
Date d'interprétation :	25/10/2023
Collaborateur "Bureau" :	L. LASSAUZET

Description de la zone investiguée	
Ouvrage / Bâtiment :	Réservoir des Capucins
Partie d'ouvrage / de bâtiment :	Voile périphérique extérieur
Dénomination axe de fissuration :	T ₃ - Zone visuellement altérée

Conditions d'intervention	
Conditions météorologiques :	Nuageux
Température :	7 - 8°C
Moyens d'accès :	/
Difficultés d'accès :	/

Fissuration orientée ?	Non
Si oui, indiquer l'axe perpendiculaire aux fissures :	




Intervalle		1		2		3		4		5		Longueur axe (m)	Nombre de fissure sur axe	Ouverture (mm)			Indice de Fissuration (IF)	
		0-10 cm		10-20 cm		20-30 cm		30-40 cm		40-50 cm				Totale cumulée	Moyenne par fissure	Moyenne par mètre		
		6		7		8		9		10								
		50-60 cm		60-70 cm		70-80 cm		80-90 cm		90-100 cm								
		11		12		13		14 :										
		100-110 cm		110-120 cm		120-130 cm		130-141 cm										
Axe	OA	0.1						µf						1.0	1	0.10	0.10	0.10
	OB													1.0	2	0.40	0.20	0.40
	OC	0.2								µf								
		µf												1.4	2	0.30	0.15	0.21
						0.1												
						µf												
	AB										µf				1.4	1	0.10	0.10
									0.1									

Observations :	Présence de réagréage
----------------	-----------------------

Conclusions du relevé vis-à-vis :			
- De la Méthode d'essai LPC n° 47 "Détermination de l'indice de fissuration d'un parement de béton" de Octobre 1997			
- Du Guide technique LCPC "Aide à la gestion des ouvrages atteints de réactions de gonflement interne" de Novembre 2003			
Valeur Indice de Fissuration (IF) :	0.20	Importance de la fissuration :	Négligeable
Fissure isolée - Ouverture maximale (mm) :	0.2		
Échéance de relevé :	Annuelle : 12 mois		

Tableau 25 : Relevé de l'Axe de fissuration T3 à T₀ + 3 mois

- Axe de fissuration T₃ – Troisième relevé à T₀ + 6 mois – 18 Janvier.2024 :

	INDICE DE FISSURATION Feuille de relevé - Méthode d'essai LPC n° 47	Enregistrement :	/
		V1.0 - 04/07/2023	
		Processus :	AFFAIRES

Références internes Ginger CEBTP	N° de dossier :	ORE3.J.0061.0034
	Client :	ESID de Brest
	Dénomination du dossier :	Réservoir des Capucins - Diagnostic orienté RGI

Identification et Suivi interne Ginger CEBTP	
Agence :	Nantes
Date du relevé :	18/01/2024
Collaborateur "Terrain" :	Clément DEVAUX
Date d'interprétation :	23/01/2024
Collaborateur "Bureau" :	Antony LETERRIER

Description de la zone investiguée	
Ouvrage / Bâtiment :	Réservoir des Capucins
Partie d'ouvrage / de bâtiment :	Voile périphérique extérieur
Dénomination axe de fissuration :	T ₃ - Zone visuellement altérée

Conditions d'intervention	
Conditions météorologiques :	Soleil
Température :	5°C
Moyens d'accès :	/
Difficultés d'accès :	/

Fissuration orientée ?	Non
Si oui, indiquer l'axe perpendiculaire aux fissures :	




Intervalle		1		2		3		4		5		Longueur axe (m)	Nombre de fissure sur axe	Ouverture (mm)			Indice de Fissuration (IF)
		0-10 cm		10-20 cm		20-30 cm		30-40 cm		40-50 cm				Totale cumulée	Moyenne par fissure	Moyenne par mètre	
		6		7		8		9		10							
		50-60 cm		60-70 cm		70-80 cm		80-90 cm		90-100 cm							
		11		12		13		14 :									
		100-110 cm		110-120 cm		120-130 cm		130-141 cm									
Axe	OA	0.1					μf						1.0	1	0.10	0.10	0.10
													1.0	1	0.10	0.10	0.10
	OB	μf							μf				1.0	1	0.10	0.10	0.10
													1.4	2	0.30	0.15	0.21
	OC	0.2					μf			μf			1.4	2	0.30	0.15	0.21
		μf					μf						1.4	2	0.30	0.15	0.21
AB					0.1							1.4	1	0.10	0.10	0.07	
									μf			1.4	1	0.10	0.10	0.07	

Observations :	Présence de réagréage
----------------	-----------------------

Conclusions du relevé vis-à-vis :			
- De la Méthode d'essai LPC n° 47 "Détermination de l'indice de fissuration d'un parement de béton" de Octobre 1997			
- Du Guide technique LCPC "Aide à la gestion des ouvrages atteints de réactions de gonflement interne" de Novembre 2003			
Valeur Indice de Fissuration (IF) :	0.12	Importance de la fissuration :	Négligeable
Fissure isolée - Ouverture maximale (mm) :	0.2		
Échéance de relevé :		Annuelle : 12 mois	

Tableau 26 : Relevé de l'Axe de fissuration T3 à T₀ + 6 mois

- **Axe de fissuration T₃ – Troisième relevé à T₀+ 9 mois – 16 Mai.2024 :**

	INDICE DE FISSURATION Feuille de relevé - Méthode d'essai LPC n° 47	Enregistrement :	/
		V1.0 - 04/07/2023	
		Processus :	AFFAIRES

Références internes Ginger CEBTP	N° de dossier :	ORE3.J.0061.0034
	Client :	ESID de Brest
	Dénomination du dossier :	Réservoir des Capucins - Diagnostic orienté RGI

Identification et Suivi interne Ginger CEBTP	
Agence :	Nantes
Date du relevé :	16/05/2024
Collaborateur "Terrain" :	Régis SAUVEE
Date d'interprétation :	18/09/2024
Collaborateur "Bureau" :	Antony LETERRIER

Description de la zone investiguée	
Ouvrage / Bâtiment :	Réservoir des Capucins
Partie d'ouvrage / de bâtiment :	Voile périphérique extérieur
Dénomination axe de fissuration :	T ₁ - Zone visuellement altérée

Conditions d'intervention	
Conditions météorologiques :	Nuageux
Température :	17°C
Moyens d'accès :	/
Difficultés d'accès :	/

Fissuration orientée ?	Non
Si oui, indiquer l'axe perpendiculaire aux fissures :	




Intervalle		1 0-10 cm			2 10-20 cm			3 20-30 cm			4 30-40 cm			5 40-50 cm			Longueur axe (m)	Nombre de fissure sur axe	Ouverture (mm)			Indice de Fissuration (IF)
		6 50-60 cm			7 60-70 cm			8 70-80 cm			9 80-90 cm			10 90-100 cm					Totale cumulée	Moyenne par fissure	Moyenne par mètre	
		11 100-110 cm			12 110-120 cm			13 120-130 cm			14 : 130-141 cm											
Axe	OA	0.1						µf									1.0	1	0.10	0.10	0.10	
																		1.0	1	0.10	0.10	0.10
	OB	µf																1.0	1	0.10	0.10	0.10
	OC	0.2						µf										1.4	2	0.30	0.15	0.21
		µf						µf														
	AB																					
						0.1																

Observations :	Présence de réagréage
----------------	-----------------------

<p align="center">Conclusions du relevé vis-à-vis :</p> <p align="center">- De la Méthode d'essai LPC n° 47 "Détermination de l'indice de fissuration d'un parement de béton" de Octobre 1997</p> <p align="center">- Du Guide technique LCPC "Aide à la gestion des ouvrages atteints de réactions de gonflement interne" de Novembre 2003</p>			
Valeur Indice de Fissuration (IF) :	0.12	Importance de la fissuration :	Négligeable
Fissure isolée - Ouverture maximale (mm) :	0.2		
Échéance de relevé :		Annuelle : 12 mois	

Tableau 27 : Relevé de l'Axe de fissuration T_3 à $T_0 + 9$ mois

• Axe de fissuration T₃ – Troisième relevé à T₀ + 12 mois – 09 Juillet 2024 :

	INDICE DE FISSURATION Feuille de relevé - Méthode d'essai LPC n° 47		Enregistrement : /	
			V1.0 - 04/07/2023	
			Processus : AFFAIRES	


Références internes Ginger CEBTP	N° de dossier :	ORE3.J.0061.0034
	Client :	ESID de Brest
	Dénomination du dossier :	Réservoir des Capucins - Diagnostic orienté RGI

Identification et Suivi interne Ginger CEBTP	
Agence :	Nantes
Date du relevé :	09/07/2024
Collaborateur "Terrain" :	Régis SAUVEE
Date d'interprétation :	18/09/2024
Collaborateur "Bureau" :	Antony LETERRIER

Description de la zone investiguée	
Ouvrage / Bâtiment :	Réservoir des Capucins
Partie d'ouvrage / de bâtiment :	Voile périphérique extérieur
Dénomination axe de fissuration :	T ₃ - Zone visuellement altérée

Conditions d'intervention	
Conditions météorologiques :	Nuageux
Température :	19°C
Moyens d'accès :	/
Difficultés d'accès :	/

Fissuration orientée ?	Non
Si oui, indiquer l'axe perpendiculaire aux fissures :	



Intervalle						Longueur axe (m)	Nombre de fissure sur axe	Ouverture (mm)			Indice de Fissuration (IF)	
	1	2	3	4	5			Totale cumulée	Moyenne par fissure	Moyenne par mètre		
	0-10 cm 6 50-60 cm 11 100-110 cm	10-20 cm 7 60-70 cm 12 110-120 cm	20-30 cm 8 70-80 cm 13 120-130 cm	30-40 cm 9 80-90 cm 14 130-141 cm	40-50 cm 10 90-100 cm							
Axe	OA	0.1					1.0	1	0.10	0.10	0.10	0.12
	OB		0.1				1.0	1	0.10	0.10	0.10	
	OC						1.4	2	0.30	0.15	0.21	
	AB						1.4	1	0.10	0.10	0.07	

Observations :	Présence de réagréage
----------------	-----------------------

Conclusions du relevé vis-à-vis : - De la Méthode d'essai LPC n° 47 "Détermination de l'indice de fissuration d'un parement de béton" de Octobre 1997 - Du Guide technique LCPC "Aide à la gestion des ouvrages atteints de réactions de gonflement interne" de Novembre 2003			
Valeur Indice de Fissuration (IF) :	0.12	Importance de la fissuration :	Négligeable
Fissure isolée - Ouverture maximale (mm) :	0.2		
Échéance de relevé :		Annuelle : 12 mois	

Tableau 28 : Relevé de l'Axe de fissuration T₃ à T₀ + 12 mois

• **Axe de fissuration T₃ – Interprétation :**

Le graphique présent ci-dessous illustre l'évolution de l'indice de fissuration au niveau du trièdre T1 en fonction du temps :

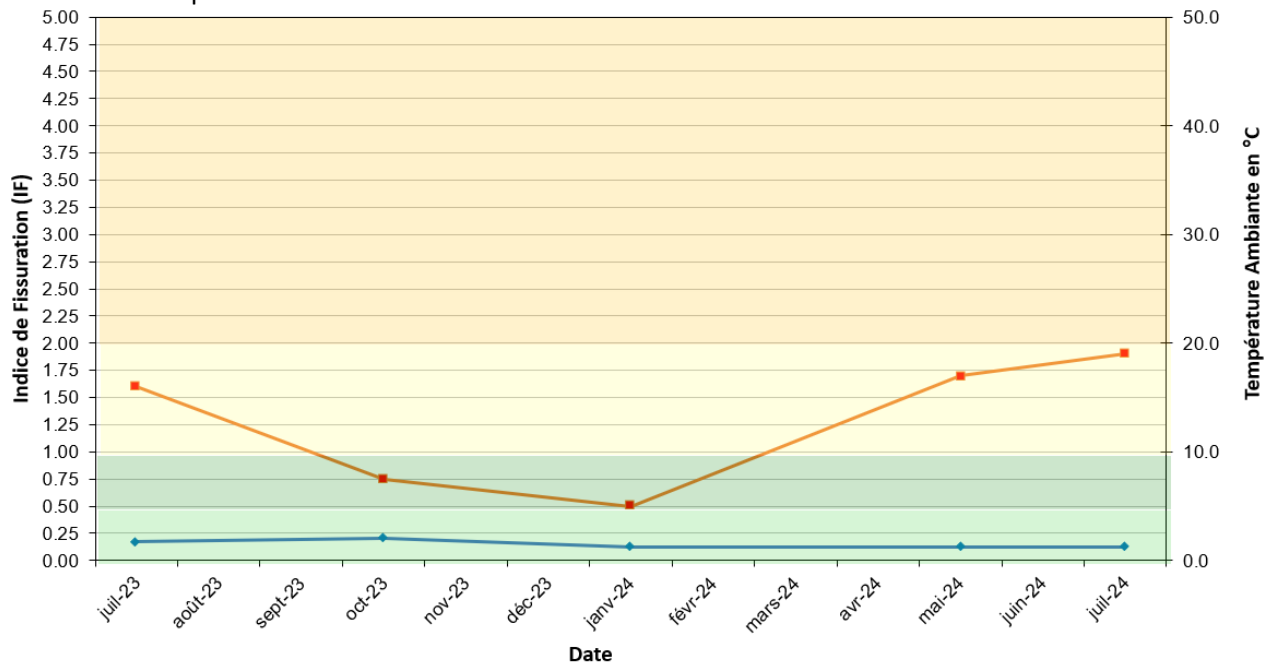


Tableau 29 : Evolution de l'indice de fissuration au niveau du trièdre T3 en fonction du temps

Légende :

Valeur IF	Importance de la fissuration
0 à 0.5	négligable
0.5 à 1	faible
1 à 2	modérée
2 à 5	forte
5 à 10	très forte
> 10	considérable

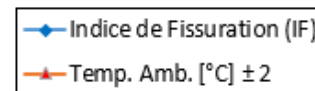


Figure 6 : Légende

Commentaires :

Entre le premier et le deuxième relevé, il peut être observé une augmentation de l'indice de fissuration de 0.03, passant de 0.17 à 0.20. L'ouverture totale cumulée des axes OB, OC et AB est resté identique durant cette période. L'ouverture cumulée de l'axe OA a quant à elle, augmentée.

Entre le deuxième et le troisième relevé, il peut être observé une augmentation de l'indice de fissuration de 0.08, passant de 0.20 à 0.12. L'ouverture totale cumulée de l'axe OB a augmenté durant cette période. L'ouverture cumulée des axes OA OC et AB est, quant à elle, restée constante.

Entre le troisième et le cinquième relevé, il peut être observé une stabilisation de l'indice de fissuration de 0.12. L'ouverture totale cumulée de l'ensemble des axes est restée identique.

En tenant compte de ces éléments et selon la méthode d'essais technique LPC n°47 dénommé « Détermination de l'indice de fissuration d'un parement de béton », l'indice de fissuration est compris entre 0.12 et 0.20 est peut ainsi, être qualifié de négligeable au 09 Juillet 2024.

6. RESULTATS DES ESSAIS ET DES ANALYSES EN LABORATOIRE

Ce paragraphe résume les essais et analyses effectués par la laboratoire de chimie – microstructure de Ginger CEBTP, le rapport complet est disponible en **Annexe 1**.

6.1 Description des prélèvements de béton par carottages

Les descriptions des prélèvements de béton par carottages sont à retrouver dans le tableau ci-dessous :



	C1	C2
Diamètre (mm)	79	79
Hauteur (mm)	111	100
Description	Mortier de surface : 5 mm Béton : 106 mm	Mortier de surface : 10 mm Béton : 90 mm
Commentaires	Faible bullage D _{max} : 18 mm	Faible bullage D _{max} : 15 mm
Photographie		

Tableau 30 : Description des carottes de béton



	C3	C4
Diamètre (mm)	79	79
Hauteur (mm)	102	114
Description	Mortier de surface : 10 mm Béton : 92 mm	Mortier de surface : 13 à 30 mm Béton : 84 à 101 mm
Commentaires	Faible bullage D _{max} : 21 mm	Faible bullage D _{max} : 22 mm
Photographie		

Tableau 31 : Description des carottes de béton

6.2 Examens visuels et examens au Microscope Electronique à Balayage orienté « Réaction de Gonflement Interne » du béton

Un examen visuel et un examen au Microscope Electronique à Balayage orienté « Réaction de Gonflement Interne » du béton ont été réalisés selon des protocoles interne à Ginger CEBTP, au niveau des carottes de béton C1 et C3 prélevées au droit des parements extérieurs du voile périphérique en béton armé. La synthèse des résultats est présentée ci-dessous :

Echantillon		C1 – Zone visuellement altérée	C3 – Zone visuellement saine
Examen visuel	Description	<ul style="list-style-type: none"> Matériau gris : 4 mm Matériau beige/gris : 6 mm Béton gris 	<ul style="list-style-type: none"> Matériau gris/beige : 5 mm Béton gris
	Observations	Traces blanchâtres dans certaines porosités et en sous-face du béton	
	Test à la phénolphthaléine (sur le béton)	Coloration dès la surface du béton	
Examen MEB sur le béton	Liant	Compacité	FS et FC : granuleux à presque dense ou parfois alvéolaire
		Analyse	FS et FC : classique
	Ajout		Laitier
	Ettringite comprimée		FS : en quelques ilots FC : en quelques ilots
	Traces de chlore		Dans le liant sur FS et dans certains hydrates du béton
	Autres observations		Présence de quelques cristallisations de calcite et d'un composé de sulfures de fer sur fracture à cœur

Tableau 32 : Résultats de l'examen visuel et de l'examen au Microscope Electronique à Balayage orienté « Réaction de Gonflement Interne » du béton

FS : Fracture en Surface / FC : Fracture à cœur

Commentaires :

Lors de l'examen visuel des carottes de béton C1 et C3, ; il a pu être observé la présence d'importantes traces blanchâtres dans certaines porosités et en sous-face des carottes de béton.

Lors de l'examen au Microscope Electronique à Balayage de la carotte de béton C1 il a pu être observé :

- La présence d'ettringite en aiguilles parfois comprimées en quelques ilots,
- La présence de formations d'aluminates et de monosulfoaluminates de calcium hydraté,
- La présence des quelques réseaux de microfissures en surface,
- La présence non courante de chlore dans le liant,
- L'absence de gels d'alcali-réaction.

Lors de l'examen au Microscope Electronique à Balayage de la carotte de béton C3 il a pu être observé :

- La présence d'ettringite en aiguilles comprimées en quelques ilots ou en rares tapis plus étendus,
- La présence de formations d'aluminates de calcium hydraté et plus rarement, de monosulfoaluminates de calcium hydraté
- La présence de quelques cristallisation de calcite et d'un composé de sulfures de fer,
- La présence non courante de chlore dans certains hydrates du béton,
- L'absence de gels d'alcali-réaction.

6.3 Dosages en Alcalins Libérables du Béton

Des dosages en alcalins libérables ont été réalisés selon le mode opératoire du GranDuBé sur les carottes de béton C2 et C4 prélevées au droit des parements extérieurs du voile périphérique béton armé. Les dosages en alcalins libérables sont associés à un essai de détermination de la masse volumique apparente et de la porosité accessible à l'eau qui a été réalisé selon la mode opératoire recommandé par l'AFPC-AFREM « Détermination de la masse volumique apparente et de la porosité accessible à l'eau ». La synthèse des résultats est présentée ci-dessous :

Références	C2 – Zone visuellement altérée	C4 – Zone visuellement saine
Masse volumique apparente (kg/m ³)	2210	2200
Porosité accessible à l'eau (%)	17.4	17.7
Na ₂ O (%)	0.02	0.06
K ₂ O (%)	0.10	0.13
Eq Na ₂ O (%)	0.09	0.14
Eq Na ₂ O* (kg/m ³)	2.0	3.1

Tableau 33 : Résultats des dosages en alcalins libérables

* : La teneur en alcalins en kg/m³ correspond à la masse volumique apparente multipliée par la teneur en alcalins en pourcentage

Commentaires :

La teneur en alcalins dans les béton joue un rôle important dans les phénomènes de « Réaction de Gonflement Interne » du béton, et plus particulièrement la part d'alcalins capable de passer en solution dit « actifs » pour les problématiques d'alcali-réaction. Le guide du LCPC intitulé « Protection et réparation des ouvrages atteints de réaction de gonflement interne du béton » d'Octobre 2010 indique que « la valeur moyenne en alcalins actifs doit être inférieure à 3 kg/m³, et la valeur maximale en alcalins actifs doit rester inférieure à 3,3 kg/m³ ».

Dans le cas présent :

- La teneur en alcalins libérables dans le béton pour la carotte de béton C4 est supérieure à la valeur moyenne fixée à 3 kg/m³ et inférieure à la teneur maximale fixée à 3.3 kg/m³,
- La teneur en alcalins libérables dans le béton pour la carotte de béton C2 est inférieure à la valeur moyenne fixée à 3 kg/m³ et inférieure à la teneur maximale fixée à 3.3 kg/m³.

6.4 Profil de pénétration en ions sulfates du béton

Les profils de pénétrations réalisés par les dosages en ions sulfates obtenus suivant les protocoles interne de Ginger CEBTP sont présentés dans le tableau suivant :

Localisation	N° échantillon		Teneur en silice (%)	Teneur en ciment (%)	Teneur en ions sulfates	
					(% masse béton)	(% masse ciment)
Parement extérieur du voile périphérique en béton armé Zone visuellement saine	P1	Poudre 0-2 cm	6,37	24,5	0,46	1,88
		Poudre 2-4 cm	3,64	14,0	0,29	2,07
		Poudre 4-6 cm	3,88	14,9	0,36	2,41
Parement extérieur du voile périphérique en béton armé Zone visuellement altérée	P2	Poudre 0-2 cm	5,66	21,8	0,52	2,39
		Poudre 2-4 cm	3,63	14,0	0,33	2,36
		Poudre 4-6 cm	3,37	13,0	0,29	2,24

Tableau 34 : Résultats des profils de pénétration en ions sulfates

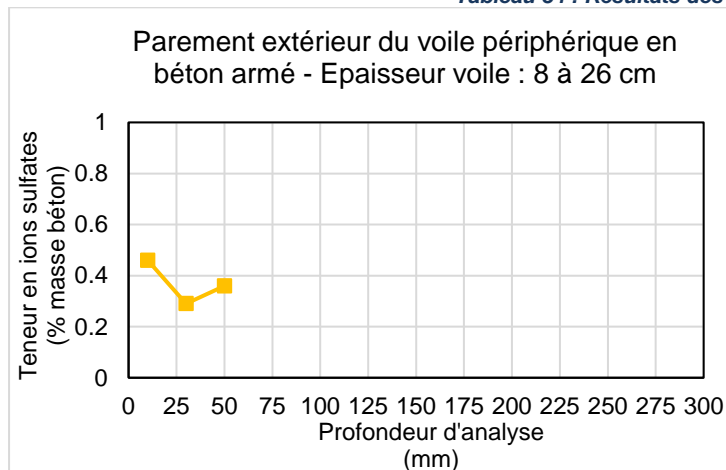


Tableau 35 : Graphique illustrant la teneur en ions sulfates par rapport à la masse de béton en fonction de la profondeur du prélèvement de poudre P1

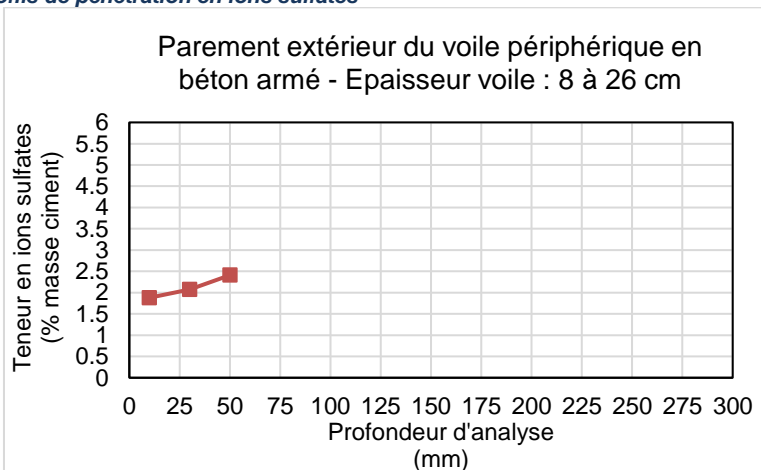


Tableau 36 : Graphique illustrant la teneur en ions sulfates par rapport à la masse de ciment en fonction de la profondeur du prélèvement de poudre P1

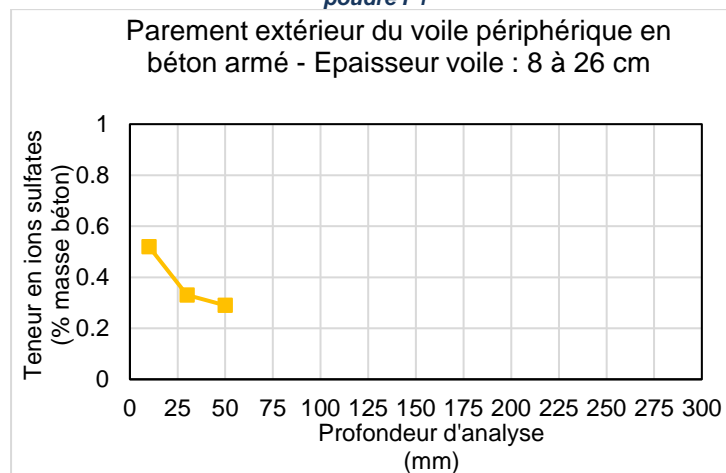


Tableau 37 : Graphique illustrant la teneur en ions sulfates par rapport à la masse de béton en fonction de la profondeur du prélèvement de poudre P2

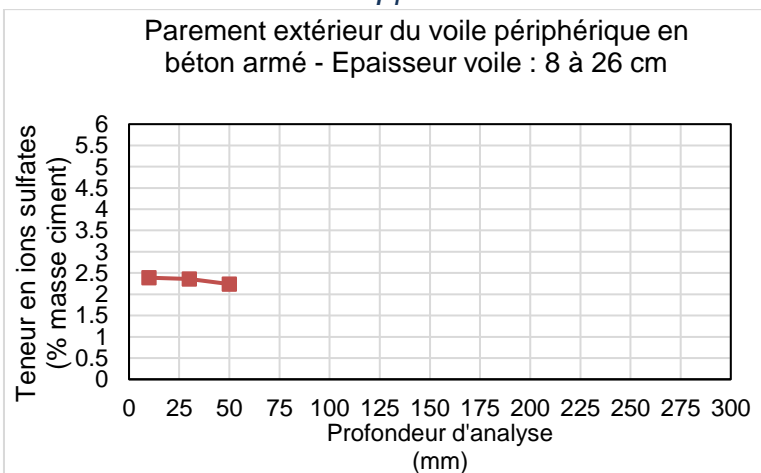


Tableau 38 : Graphique illustrant la teneur en ions sulfates par rapport à la masse de ciment en fonction de la profondeur du prélèvement de poudre P2

Commentaires :

En se basant sur les graphiques exprimant les teneurs en ions sulfates par rapport à la masse de béton en fonction de la profondeur analysée, il peut être émis les commentaires suivants :

- Les teneurs en ions sulfates sont comprises entre 0.29 % et 0.52 % par rapport à la masse de béton,
- Notons que les échantillons de poudres de béton situés en peau (poudre 0-2 cm) intègrent également les épaisseurs de mortier de surface. C'est pourquoi, il convient de considérer d'avantage les teneurs en ions sulfates exprimées par rapport à la masse de ciment, qui tiennent compte de la teneur en ciment globale de l'échantillon analysé (mortier et béton),
- Des teneurs en ions sulfates plus importantes en peau (mortier et béton) qu'à l'enrobage moyen des armatures et à cœur du matériau (béton), pour les deux prélèvements de béton analysés. Cet enrichissement est doit vraisemblablement provenir du mortier.

En se basant sur les graphiques exprimant les teneurs en ions sulfates par rapport à la masse de ciment en fonction de la profondeur analysée, il peut être émis les commentaires suivants :

- Les teneurs en ions sulfates sont comprises entre 1.88 % et 2.41 % par rapport à la masse de ciment,
- Pour le prélèvement de béton P1, il peut être observé des teneurs en ions sulfates plus importantes à cœur du béton qu'en peau et à l'enrobage moyen des armatures du béton,
- Pour le prélèvement de béton P2, il peut être observé des teneurs en ions sulfates globalement homogènes entre elles.
- Selon la norme EN 197-1, la teneur en ions sulfates exprimée en % de SO_3 rapportée à la masse de ciment, ne doit pas dépasser la valeur de 3.5 % ou 4 % par rapport à la masse de ciment, suivant la classe de résistance du ciment. Notons que la valeur exprimée tient compte du type de liant hydraulique et de sa classe de résistance selon le tableau présent au paragraphe ci-dessous :

Teneur en sulfate (SO_3)	EN 196-2	CEM I	32,5 N	$\leq 3,5 \%$
		CEM II ^{c)}	32,5 R	
		CEM IV	42,5 N	$\leq 4,0 \%$
		CEM V	42,5 R	
			52,5 N	
			52,5 R	
		CEM III ^{d)}	toutes classes	

Tableau 39 : Tableau 4 extrait de la norme NF EN 197-1 d'Avril 2012

La totalité des tranches de béton analysées présentent des teneurs en ions sulfates inférieures au seuil des 3.5 % (et donc au seuil des 4 %) par rapport à la masse de ciment.

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

7. SYNTHÈSE

7.1 Relevé des axes de fissuration

Selon la méthode d'essais technique LPC n°47 dénommée « Détermination de l'indice de fissuration d'un parement de béton », il peut être émis les commentaires suivants :

- L'indice de fissuration de l'axe de fissuration T1 est compris entre 0.32 et 0.43 **est peut ainsi être qualifié de négligeable au 09 Juillet 2024,**
- L'indice de fissuration de l'axe de fissuration T2 est compris entre 0.09 et 0.15 **est peut ainsi être qualifié de négligeable au 09 Juillet 2024,**
- L'indice de fissuration de l'axe de fissuration T3 est compris entre 0.12 et 0.20 **est peut ainsi être qualifié de négligeable au 09 Juillet 2024.**

7.2 Examen visuel et Analyse au Microscope Electronique à Balayage orienté RGI

Suite à la réalisation d'un examen visuel et d'un examen au Microscope Electronique à Balayage orienté « Réaction de Gonflement Interne » du béton au niveau des carottes prélevées sur les parements extérieurs du voile périphérique en béton armé, il peut être émis les commentaires suivants :

- *Lors de l'examen visuel des carottes de béton C1 et C3, ; il a pu être observé la présence d'importantes traces blanchâtres dans certaines porosités et en sous-face des carottes de béton.*
- *Lors de l'examen au Microscope Electronique à Balayage de la carotte de béton C1 il a pu être observé :*
 - *La présence d'ettringite en aiguilles parfois comprimées localement en quelques ilots,*
 - *La présence de formations d'aluminates et de monosulfoaluminates de calcium hydraté,*
 - *La présence des quelques réseaux de microfissures en surface,*
 - *La présence non courante de chlore dans le liant,*
 - *L'absence de gels d'alcali-réaction.*
- *Lors de l'examen au Microscope Electronique à Balayage de la carotte de béton C3 il a pu être observé :*
 - *La présence d'ettringite en aiguilles comprimées localement en quelques ilots ou en rares tapis plus étendus,*
 - *La présence de formations d'aluminates de calcium hydraté et plus rarement, de monosulfoaluminates de calcium hydraté*
 - *La présence de quelques cristallisation de calcite et d'un composé de sulfures de fer,*
 - *La présence non courante de chlore dans certains hydrates du béton,*
 - *L'absence de gels d'alcali-réaction.*

7.3 Dosage en alcalins libérables

Selon le guide du LCPC intitulé « *Protection et réparation des ouvrages atteints de réaction de gonflement interne du béton* » d'Octobre 2010 », ce dernier indique que « la valeur moyenne en alcalins actifs doit être inférieure à 3 kg/m^3 , et la valeur maximale en alcalins actifs doit rester inférieure à $3,3 \text{ kg/m}^3$ ». Dans le cas présent :

- **La teneur en alcalins solubles dans le béton pour la carotte de béton C4 est supérieure à la valeur moyenne fixée à 3 kg/m^3 et inférieure à la teneur maximale fixée à 3.3 kg/m^3 ,**
- **La teneur en alcalins solubles dans le béton pour la carotte de béton C2 est inférieure à la valeur moyenne fixée à 3 kg/m^3 et inférieure à la teneur maximale fixée à 3.3 kg/m^3 .**

7.4 Profil de pénétrations en ions sulfates

En se basant sur les graphiques exprimant les teneurs en ions sulfates par rapport à la masse de ciment en fonction de la profondeur analysée, il peut être émis les commentaires suivants :

- Selon la norme EN 197-1, la teneur en ions sulfates exprimée en % de SO_3 rapportée à la masse de ciment, ne doit pas dépasser la valeur de 3.5 % ou 4 % par rapport à la masse de ciment, suivant la classe de résistance du ciment. Notons que la valeur exprimée tient compte du type de liant hydraulique et de sa classe de résistance,
- **La totalité des tranches de béton analysées présentent des teneurs en ions sulfates inférieures au seuil des 3.5 % (et donc au seuil des 4 %) par rapport à la masse de ciment.**

8. AVIS SUR L'ETAT DE L'OUVRAGE

La mission de Diagnostic Pathologique orienté « Réaction Gonflement Interne » des bétons des parements extérieurs du voile périphérique du Réservoir des Capucins (numéro de référencement de l'ouvrage non communiqué) situé sur le Plateau des Capucins de BREST (29) amène les commentaires suivants :

- Les indices de fissuration obtenus au niveau de chaque trièdres peuvent être qualifiés **de négligeables au 09 Juillet 2024 après une année de suivi**,
- **La présence d'aiguilles d'ettringite comprimées** (parfois en quelques ilots au niveau de la carotte C1 – Zone visuellement altérée, et en rares tapis étendus au niveau de la carotte C3 – Zone visuellement saine, en surface comme à cœur), symptomatiques d'une Réaction Sulfatique Interne,
- **L'absence de gels d'alcali-réaction symptomatiques d'une Réaction d'Alcali-Granulats**,
- Des teneurs en alcalins libérables inférieurs à la valeur maximale de 3.3 kg/m^3 ,
- Des teneurs en ions sulfates inférieurs au seuil des 3.5% (et donc au seuil des 4 %) par rapport à la masse de ciment.

Après une année de suivi, et la réalisation, d'un Diagnostic Pathologique orienté « Réaction Gonflement Interne » il apparaît que les bétons des parements extérieurs du voile périphérique du Réservoir des Capucins, ne présente pas de Réaction d'Alcali Granulats.

En revanche, il a pu être observé la présence d'aiguilles ettringite comprimées (faciès pathologique de l'ettringite) symptomatique d'une Réaction Sulfatique Interne. Notons que les teneurs en alcalins libérables (participants à la réaction) sont inférieurs à la valeur maximale précédemment mentionnée et que l'évolution des indices de fissuration ont pu, après une année de suivi, être qualifiés de négligeables. De ce fait, le phénomène semble aujourd'hui « stabilisé ». Ginger CEBTP recommande cependant la poursuite du suivi annuel des axes de fissuration tant que les travaux ne sont pas réalisés.

Nota important :

De manière à s'assurer de la stabilisation de la Réaction Sulfatique Interne, et de la non réactivation de cette dernière, les travaux devront permettre de limiter au maximum les venues et circulations d'eau dans le béton du voile périphérique de l'ouvrage (mise en œuvre d'un revêtement d'étanchéité au droit des parements intérieurs du voile périphérique de l'ouvrage et revêtement d'imperméabilisation au droit des parements extérieurs du voile périphérique de l'ouvrage). Notons également que l'extrados de la coupole de l'ouvrage devra également être concernée par la mise en œuvre d'un nouvelle étanchéité.

ANNEXE 1

RAPPORT D'ESSAIS ET D'ANALYSES EN LABORATOIRE

DOSSIER : N° BDP6-N-0441

RAPPORT D'ESSAIS 1.0 – Date : 11/09/2023

Dossier suivi par : **Mélodie NEANG**

☎ : 01 30 85 21 95

E-Mail : m.neang@groupeginger.com

CLIENT : GINGER CEBTP NANTES

DOSSIER : N° ONA3-N-0039

I- ECHANTILLONS

Références du Demandeur :

- 4 carottes notées : C1, C2, C3 et C4
- 6 poudres notées : P1 (0-2 cm), P1 (2-4 cm), P1 (4-6 cm), P2 (0-2 cm), P2 (2-4 cm) et P2 (4-6 cm)

Affaire : ESID – Diagnostic RGI – Capucins réservoir

N° de réception à GINGER CEBTP à Elancourt (78) : 148443 du 01/08/2023

II- PROGRAMME D'ESSAIS

Les essais suivants ont été réalisés :

- Examen visuel préalable aux autres examens microstructuraux les échantillons C1 et C3.
- Examen au microscope électronique à balayage pour la recherche de pathologies sur les échantillons C1 et C3.
- Détermination du dosage en alcalins dans le béton des carottes C2 et C4.
- Détermination de la teneur en sulfates dans les six poudres de béton.

Observations : Le présent rapport comprend 17 pages.

Sans autorisation préalable, il n'est utilisable à des fins commerciales ou publicitaires qu'en reproduction intégrale. Les résultats obtenus ne valent que pour l'objet soumis à essai, dans les conditions de réalisation de celui-ci. Ils ne sont pas généralisables.

Sauf demande écrite, les échantillons seront éliminés un mois après l'envoi du rapport.

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

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

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

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

Principes des essais :

Principe de l'examen visuel

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

Principe de l'examen au MEB

Cet essai consiste à étudier la microstructure du matériau et d'en rechercher les pathologies (ettringite comprimée, alcali-réaction, etc.). Le microscope électronique utilisé est un JEOL JSM IT200. Grâce à sa grande profondeur de champ, le microscope électronique à balayage (M.E.B.) est particulièrement adapté à l'examen des surfaces et fournit une vision tridimensionnelle de l'échantillon sur une très large gamme de grossissements. Le MEB est couplé avec un spectromètre à sélection d'énergie (EDS) qui, permettant de détecter les photons X émis, fournit une analyse élémentaire quasi ponctuelle du matériau ou une cartographie montrant la répartition des éléments chimiques dans la zone observée au microscope. Cette détection est cependant limitée aux éléments de numéro atomique $Z \geq 5$ (Bore, B), pour un volume minimal analysé d'environ 1 micron cube, et une limite de détection de l'ordre de 1% relatif. Avant examen, les échantillons sont séchés et métallisés au carbone. Cet examen est effectué conformément aux documents GINGER CEBTP référencés ELAN/IMAT/I08, ELAN/IMAT/I13 et ELAN/IMAT/I20 et ELAN/IMAT/I46.

Principe du dosage des alcalins libérables

La détermination de la teneur en alcalins libérables est effectuée selon le mode opératoire GranDuBé après extraction à l'acide nitrique 1/50 ; les alcalins sont dosés par spectrométrie d'émission optique par plasma à couplage inductif (ICP-OES). Cet essai, couplé à la détermination de la densité et de la porosité selon la norme NF P18-459 permet d'exprimer le résultat en kg/m^3 .

Avant l'essai, le béton, prélevé à cœur des carottes C2 et C4, est pré-séché dans une étuve ventilée à 50°C, puis broyé à 0,315 mm.

Principe du dosage des sulfates

Le dosage des sulfates (SO_3) est établi par spectrométrie d'émission optique par plasma à couplage inductif (ICP-OES) après mise en solution acide.

Avant l'essai, les poudres de béton sont pré-séchées dans une étuve ventilée à 50°C, puis broyées à 0,315 mm.

Principe du dosage en silice

Le dosage de la silice soluble (SiO_2) est réalisé par spectrométrie d'émission optique par plasma à couplage inductif (ICP-OES) selon le mode opératoire recommandé par GranDuBé ; il permet d'estimer la teneur en ciment dans les échantillons afin d'exprimer les résultats des dosages en sulfates par rapport au ciment.

Avant l'essai, les poudres de béton sont pré-séchées dans une étuve ventilée à 50°C, puis broyées à 0,315 mm.

Date des essais : Août 2023

III- RESULTATS

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

Les résultats de ces examens sont donnés sous forme de fiches et de planches photographiques ci-après.

Référence du prélèvement : C1	
Description : L'échantillon est une carotte dont les dimensions sont de l'ordre de 10,5 cm de longueur pour 77 mm de diamètre (voir photo n°1). Elle est constituée d'un matériau gris et d'un matériau beige/grisâtre, respectivement de 4 et 6 mm d'épaisseur, puis d'un béton gris (objet de l'étude). Ce dernier contient des gravillons de formes anguleuses à subanguleuses et de couleurs grises, noires et ponctuellement orangées. Leur passant est estimé à 16 mm. D'importantes traces blanchâtres sont observées dans certaines porosités (voir photo n°2) et en sous-face de la carotte (voir photos n°3 et n°4). Profondeur de carbonatation : Un test à la phénolphthaléine indique une coloration nette du liant du béton, dès sa surface.	
Zone de prélèvement dans le béton : <input type="checkbox"/> En surface <input checked="" type="checkbox"/> Sur fracture à cœur <input checked="" type="checkbox"/> Sur fracture à proximité de la surface <input checked="" type="checkbox"/> Traces blanchâtres	
Fracture de la surface : Le liant est compact, d'aspect granuleux à presque dense et d'analyses classiques avec parfois des traces de l'élément Cl (voir photo n°5 et spectre n°1). Les hydrates observés sont : les aluminates de calcium hydratés avec parfois du chlore (voir photo n°6 et spectre n°2) et l'ettringite en aiguilles parfois comprimées en quelques ilots (voir photo n°7 et spectre n°3). Le béton contient un ajout de laitier, peu abondant. Les grains de sable sont de natures siliceuses, feldspathiques, parfois micacées et calcaires. Quelques réseaux de microfissures ont été observés (voir photo n°8).	
Pâte de ciment à cœur : L'analyse générale de la phase liante comporte les pics des éléments Mg, Al, Si, S et Ca (voir spectres n°4 et n°5). Compacité d'ensemble : Principaux hydrates observés : <input checked="" type="checkbox"/> Faible <input checked="" type="checkbox"/> Silicates de calcium hydratés de faciès granuleux à presque dense (voir photo n°9) mais aussi présence de zones alvéolaires (voir photo n°10) <input checked="" type="checkbox"/> Moyenne <input checked="" type="checkbox"/> Chaux hydratée en rares empilements de plaquettes (voir photo n°11 et spectre n°6) <input checked="" type="checkbox"/> Importante <input checked="" type="checkbox"/> Aluminates de calcium hydratés parfois avec des traces de chlore (voir photo n°12 et spectre n°7) Ajouts observés : <input type="checkbox"/> Monosulfoaluminates de calcium hydratés <input type="checkbox"/> Cendres volantes <input checked="" type="checkbox"/> Trisulfoaluminates de calcium hydratés (ettringite) en aiguilles parfois comprimées et mêlées au liant (voir photo n°13 et spectre n°8) ou en aiguilles coalescentes à parfois comprimées en rares ilots <input checked="" type="checkbox"/> Laitier, peu abondant (voir photo n°14 et spectre n°9) <input type="checkbox"/> Autres	
Granulats : Nature des gravillons : Siliceuse Ruptures : Nature du sable : Siliceuse, feldspathique et parfois calcaire <input type="checkbox"/> Transgranulaires Contact avec le liant : Présence de vides <input checked="" type="checkbox"/> Intergranulaires <input type="checkbox"/> Mixtes	
Traces blanchâtres : L'ettringite a été détectée en de nombreuses plaquettes avec parfois des traces de sodium (Na, voir photo n°15 et spectre n°10) ou parfois en aiguilles plus ou moins coalescentes (voir photo n°16 et spectre n°11). Des formations d'aluminates (parfois avec des traces de chlore, voir photo n°17 et spectre n°12) ainsi que de monosulfoaluminates de calcium hydratés ont été observées. Quelques zones de liant alvéolaire ont été notées.	
Pathologies potentielles : <input checked="" type="checkbox"/> Ettringite comprimée en quelques ilots sur fracture surface et sur fracture à cœur <input type="checkbox"/> Produits d'alcali-réaction <input type="checkbox"/> Présence de grains de clinker résiduel <input checked="" type="checkbox"/> Présence non habituelle de chlore dans les analyses du liant sur fracture surface et dans certains hydrates du béton	

C1 – Examen visuel et examen MEB sur fracture surface

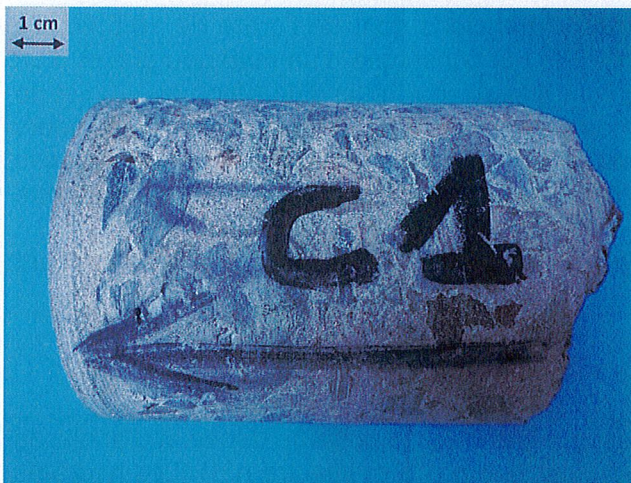


Photo n°1 Réf. : Banc photographique
Profil



Photo n°2 Réf. : Banc photographique
Vue rapprochée du profil

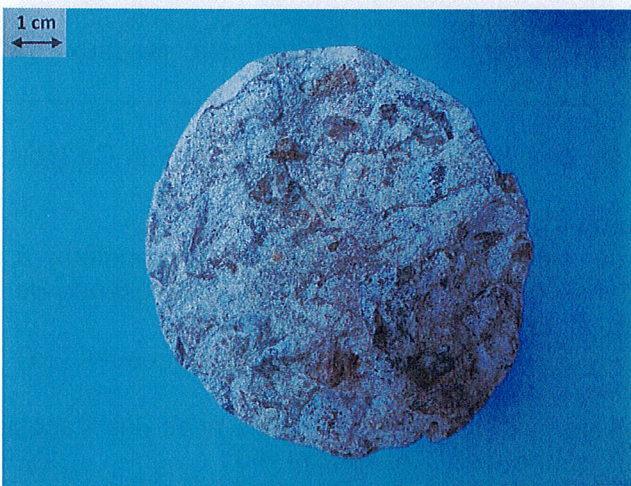


Photo n°3 Réf. : Banc photographique
Sous-face

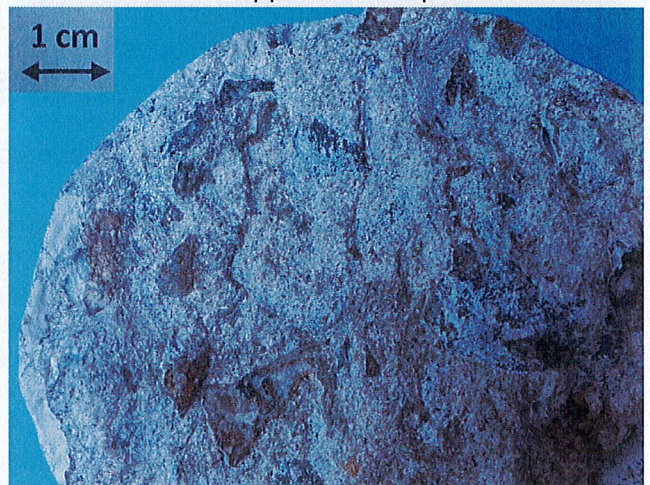


Photo n°4 Réf. : Banc photographique
Vue rapprochée de la sous-face

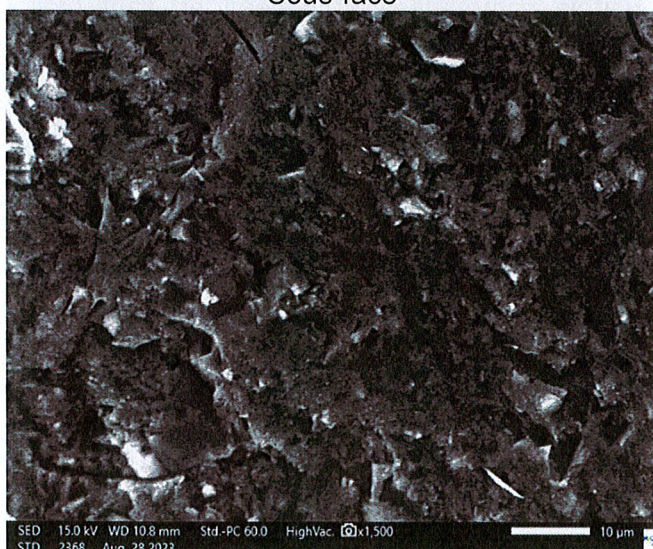
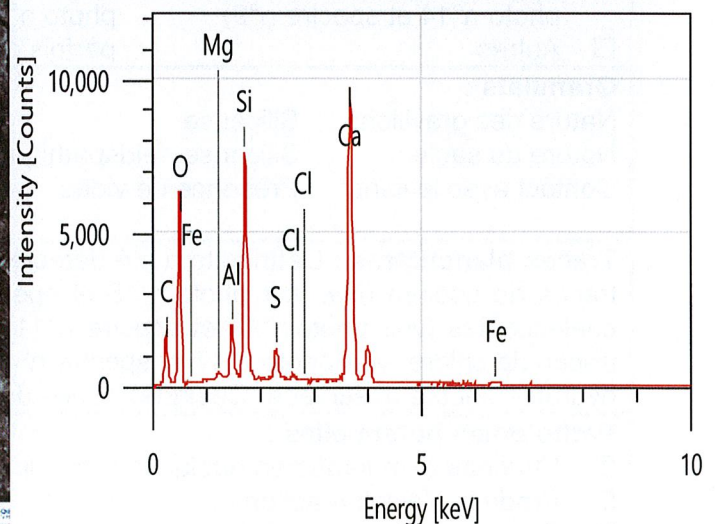


Photo n°5 Réf. : MEB
Aspect du liant



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

C1 – Examen MEB sur fracture surface

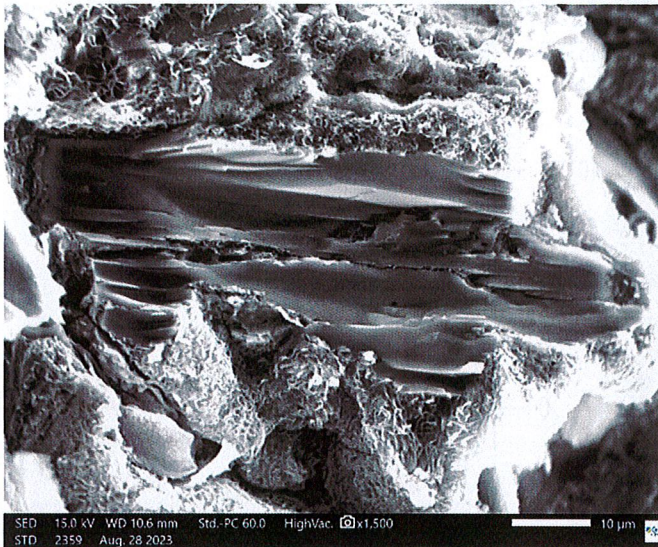
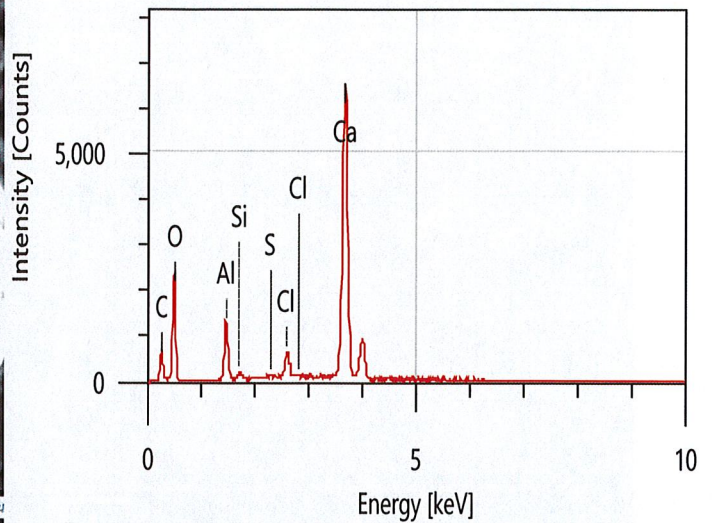


Photo n°6 Réf. : MEB
Aluminates de calcium hydratés



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

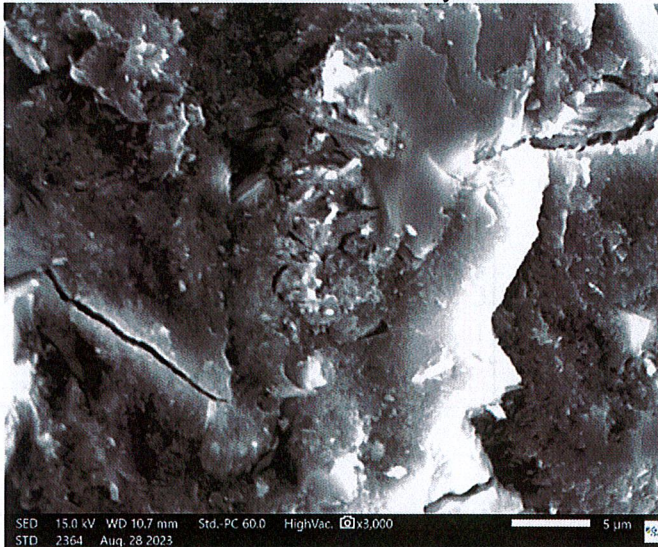
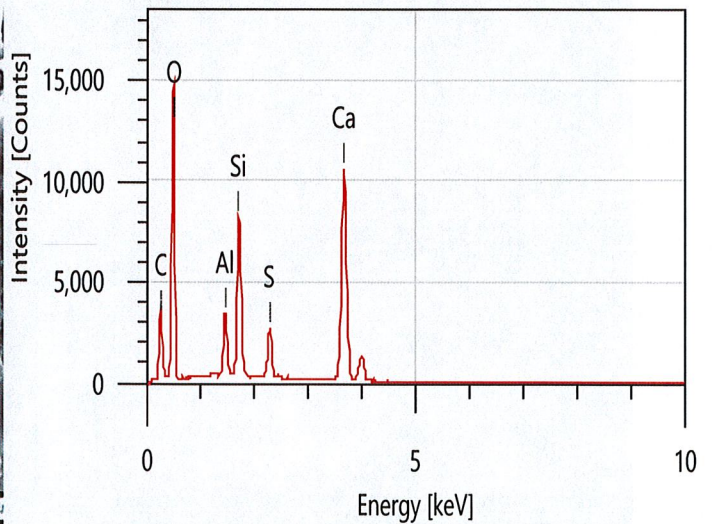


Photo n°7 Réf. : MEB
Ettringite comprimée



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

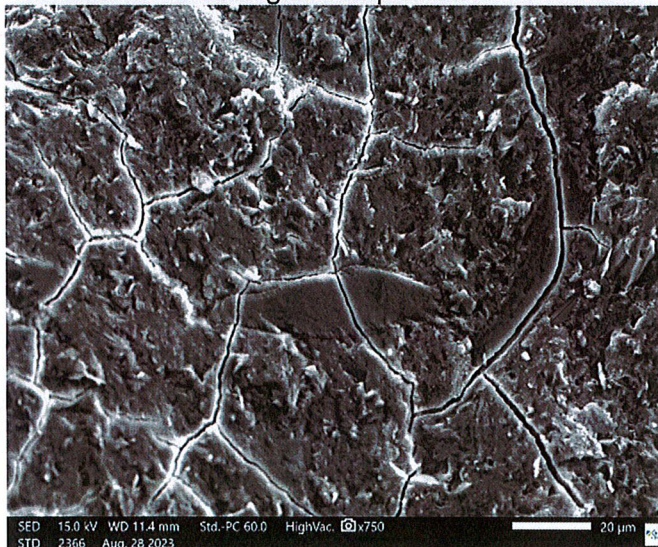


Photo n°8 Réf. : MEB
Réseau de microfissures

C1 – Examen MEB sur fracture à cœur

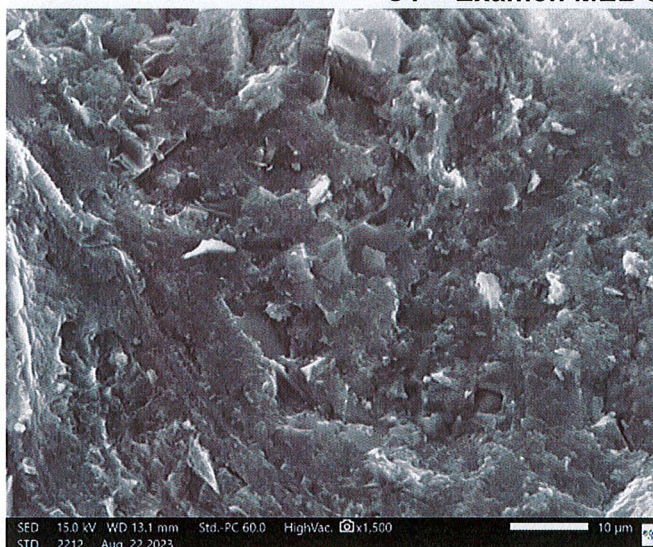
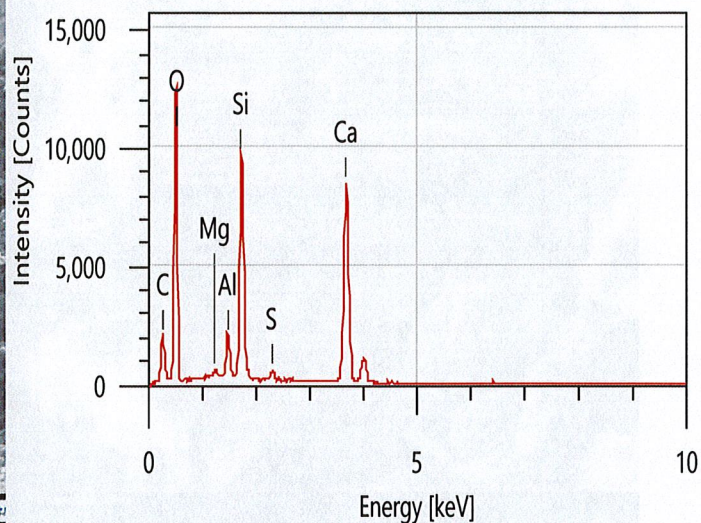


Photo n°9 Réf. : MEB
Aspect du liant granuleux à presque dense



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

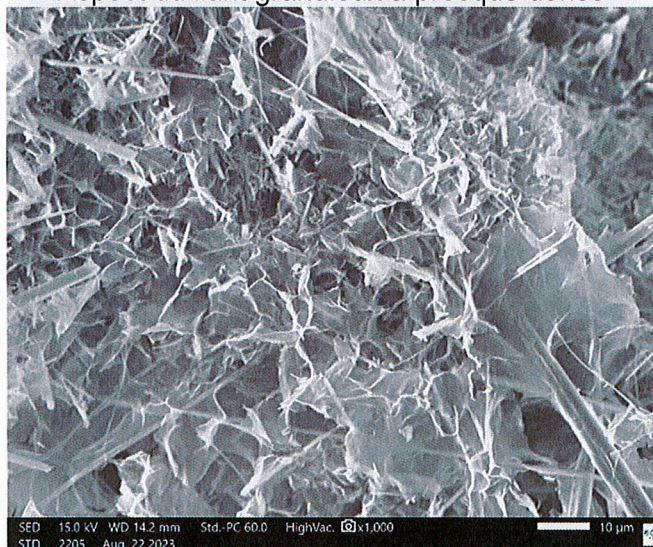
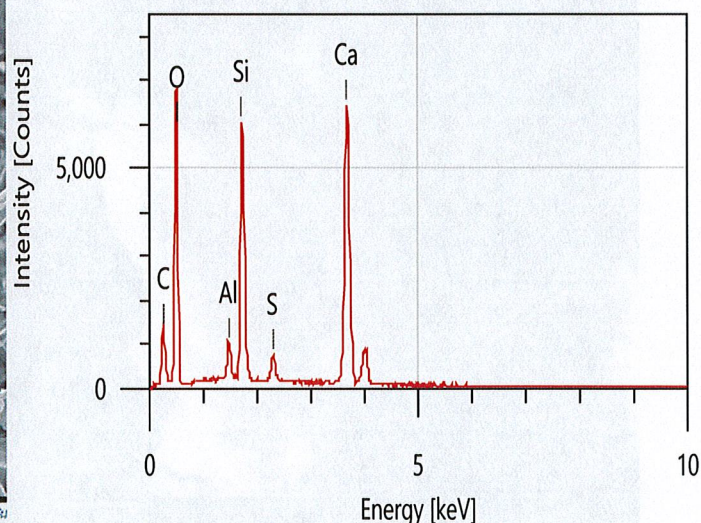


Photo n°10 Réf. : MEB
Aspect du liant alvéolaire



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

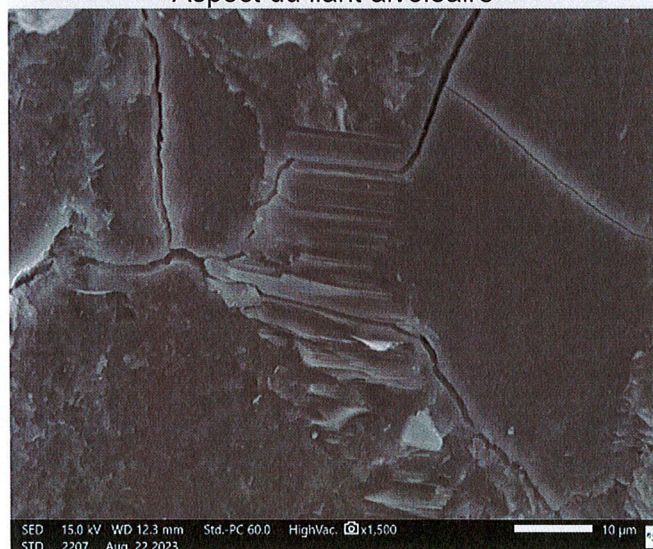
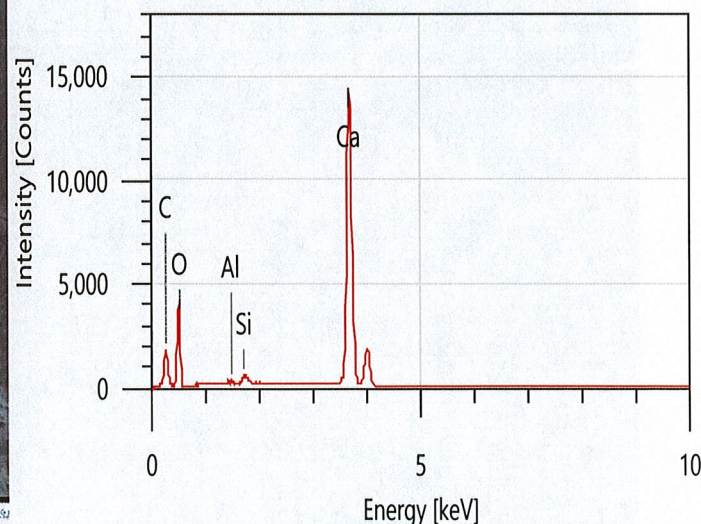


Photo n°11 Réf. : MEB
Chaux hydratée



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

C1 – Examen MEB sur fracture à cœur

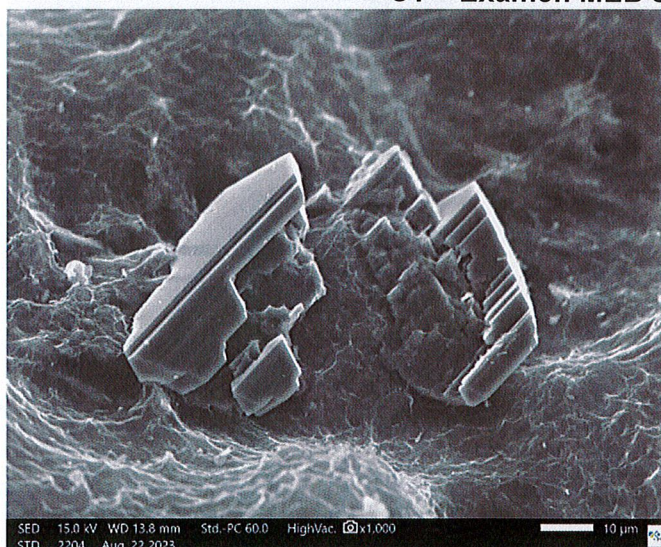
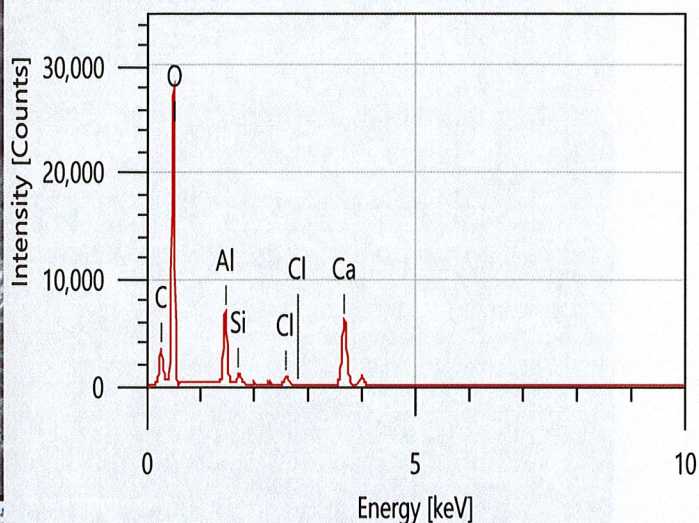


Photo n°12 Réf. : MEB
Aluminates de calcium hydratés



Spectre n°7 Réf. : EDS
Analyse indicative de la photo ci-contre

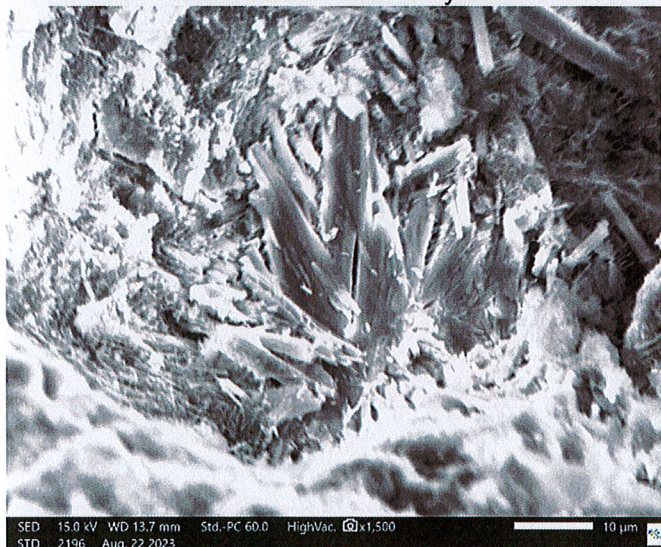
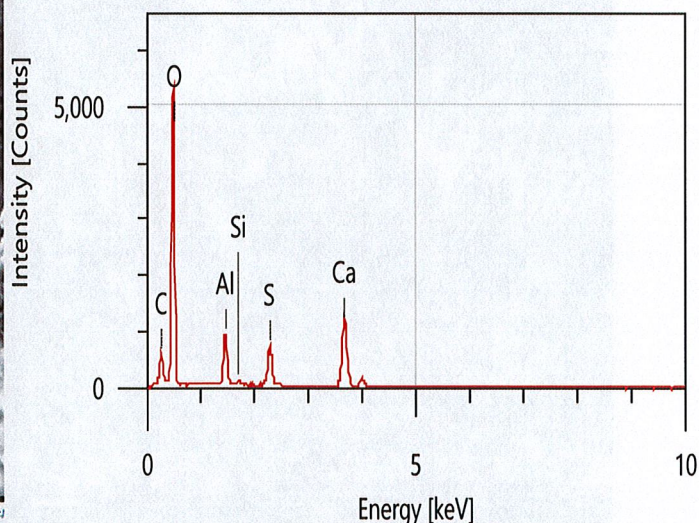


Photo n°13 Réf. : MEB
Ettringite coalescente à comprimée



Spectre n°8 Réf. : EDS
Analyse indicative de la photo ci-contre

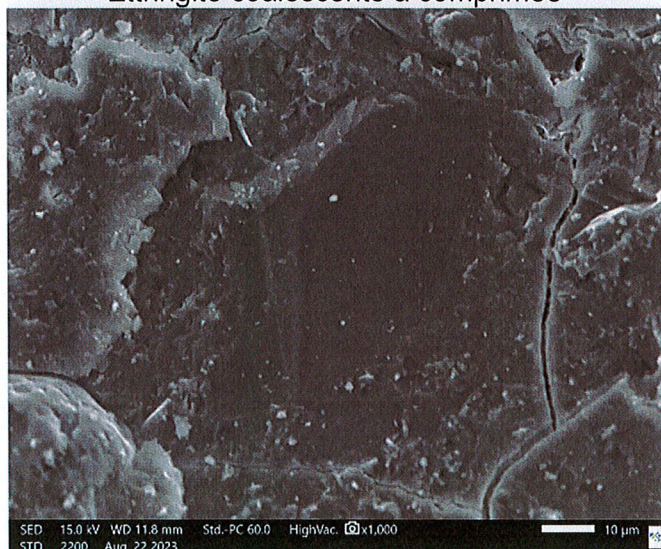
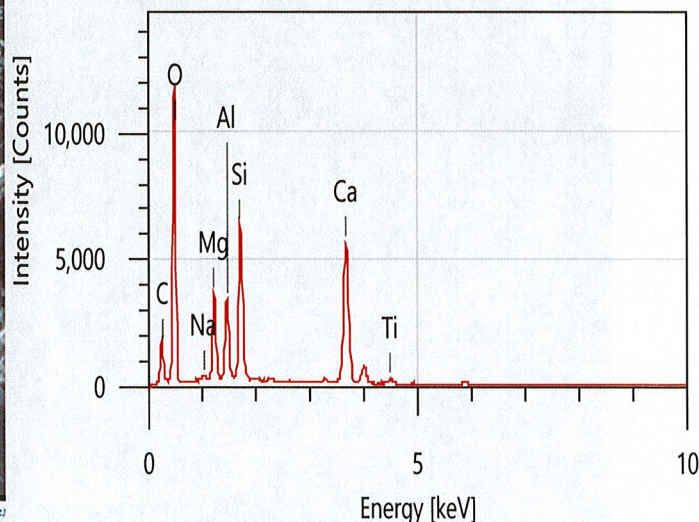


Photo n°14 Réf. : MEB
Laitier



Spectre n°9 Réf. : EDS
Analyse indicative de la photo ci-contre

C1 – Examen MEB au niveau de traces blanchâtres

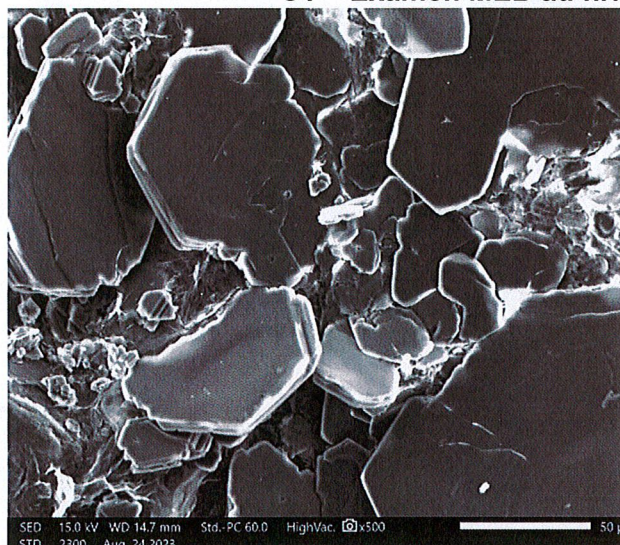
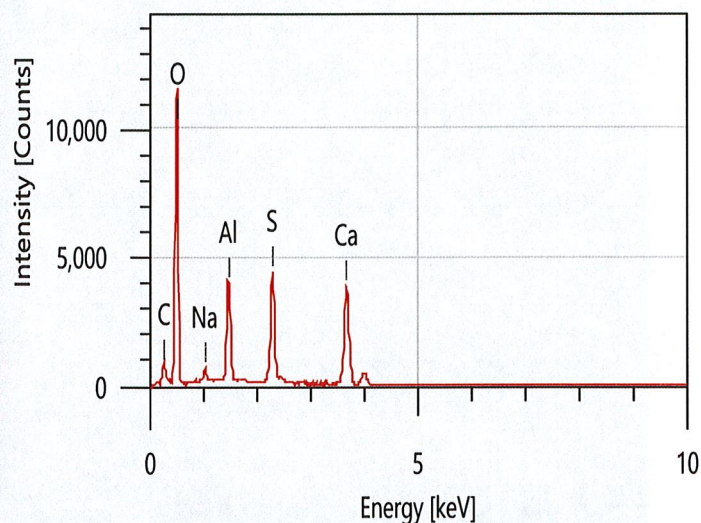


Photo n°15 Réf. : MEB
Plaquettes d'ettringite



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

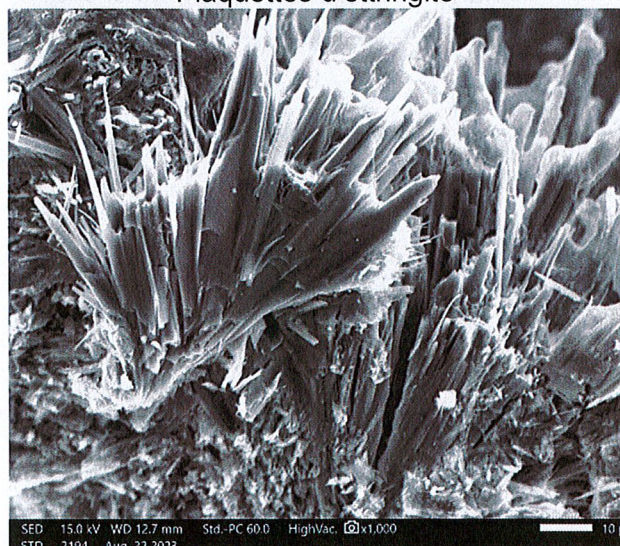
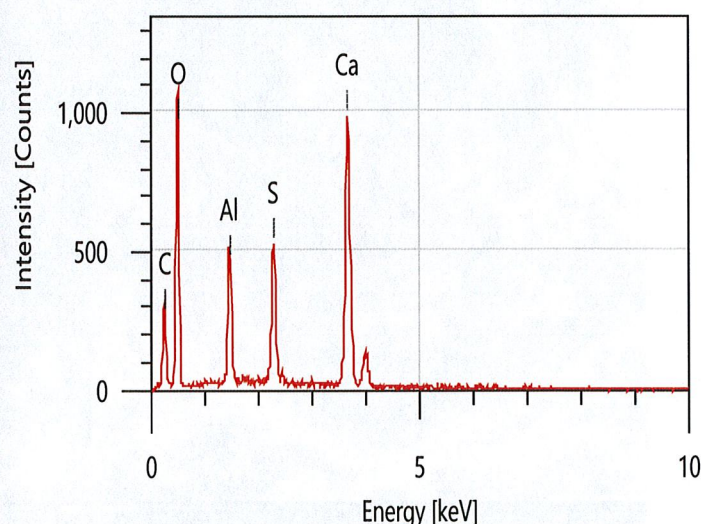


Photo n°16 Réf. : MEB
Ettringite plus ou moins coalescente



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

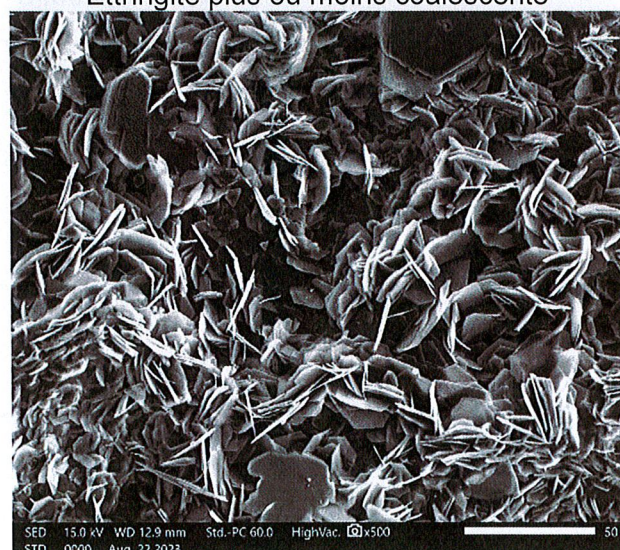
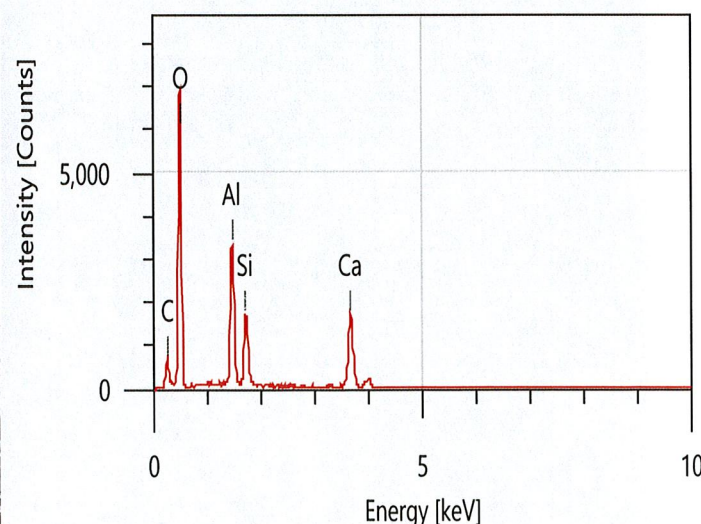


Photo n°17 Réf. : MEB
Aluminates de calcium hydratés



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

Référence du prélèvement : C3

Description : L'échantillon est une carotte dont les dimensions sont de l'ordre de 10 cm de longueur pour 77 mm de diamètre (voir photo n°18). Elle est constituée d'un matériau gris d'environ 5 mm d'épaisseur puis d'un béton gris (objet de l'étude). Ce dernier contient des gravillons de formes anguleuses à subanguleuses et de couleurs grises, noires et ponctuellement orangées. Leur passant est estimé à 20 mm. D'importantes traces blanchâtres sont observées dans certaines porosités (voir photo n°19) et en sous-face de la carotte (voir photos n°20 et n°21).

Profondeur de carbonatation : Un test à la phénolphthaléine indique une coloration nette du liant du béton dès sa surface.

Zone de prélèvement dans le béton :

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

Fracture de la surface : Le liant est principalement compact, d'aspect granuleux à presque dense et d'analyses classiques (voir photo n°22 et spectre n°13). Il présente parfois des zones d'aspect alvéolaire (voir photo n°23 et spectre n°14). Les hydrates observés sont : les aluminates de calcium hydratés (voir photo n°24 et spectre n°15) et l'ettringite en abondantes aiguilles souvent coalescentes voire comprimées en petites zones ou en rares tapis plus étendus (voir photo n°25 et spectre n°16). Quelques zones d'aspect craquelé ont été détectées (voir photo n°26 et spectre n°17). Le béton contient un ajout de laitier (voir photo n°27 et spectre n°18), peu abondant. Les grains de sable sont de natures siliceuses, feldspathiques (voir photo n°28 et spectre n°19) et parfois calcaires.

Pâte de ciment à cœur : La vue générale présente des porosités. L'analyse générale de la phase liante comporte les pics des éléments Mg, Al, Si, S et Ca (voir spectres n°20 et n°21).

Compacité d'ensemble :

☒ Faible

☒ Moyenne

☒ Importante

Ajouts observés :

☐ Cendres volantes

☒ Laitier, peu abondant

☐ Autres

Principaux hydrates observés :

☒ Silicates de calcium hydratés de faciès granuleux à presque dense (voir photo n°29) mais aussi présence de zones alvéolaires (voir photo n°30)

☒ Chaux hydratée en rares empilements de plaquettes

☒ Aluminates de calcium hydratés parfois avec des traces de chlore (voir photo n°31 et spectre n°22)

☒ Monosulfoaluminates de calcium hydratés avec des traces de sodium (Na)

☒ Trisulfoaluminates de calcium hydratés (ettringite) en empilements ou en aiguilles abondantes parfois coalescentes à comprimées voire comprimées en une petite zone (voir photo n°32 et spectre n°23)

Granulats :

Nature des gravillons : Siliceuse

Nature du sable : Siliceuse et feldspathique

Contact avec le liant : Direct avec parfois la présence d'espaces vides

Ruptures :

☐ Transgranulaires

☐ Intergranulaires

☒ Mixtes

Autres observations à cœur : Ponctuellement, de la calcite (voir photo n°33 et spectre n°24) ainsi qu'un composé de sulfures de fer (voir photo n°34 et spectre n°25) ont été détectés.

Pathologies potentielles :

☒ Ettringite comprimée en petites zones ou en rares tapis plus étendus sur fracture surface et en un petit tapis sur fracture à cœur

☐ Produits d'alcali-réaction

☐ Présence de grains de clinker résiduel

☒ Présence non habituelle de chlore dans les analyses de certains hydrates du béton

C3 – Examen visuel et examen MEB sur fracture surface

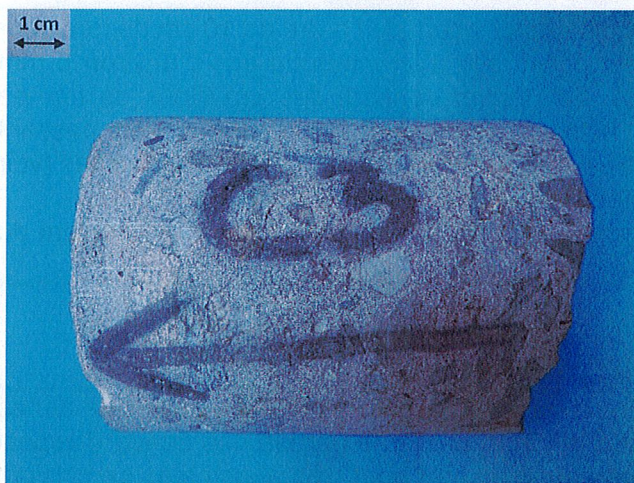


Photo n°18 Réf. : Banc photographique
Profil

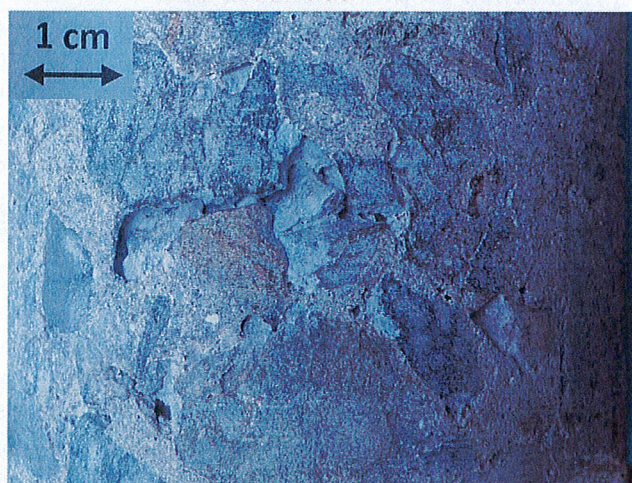


Photo n°19 Réf. : Banc photographique
Vue rapprochée du profil



Photo n°20 Réf. : Banc photographique
Sous-face

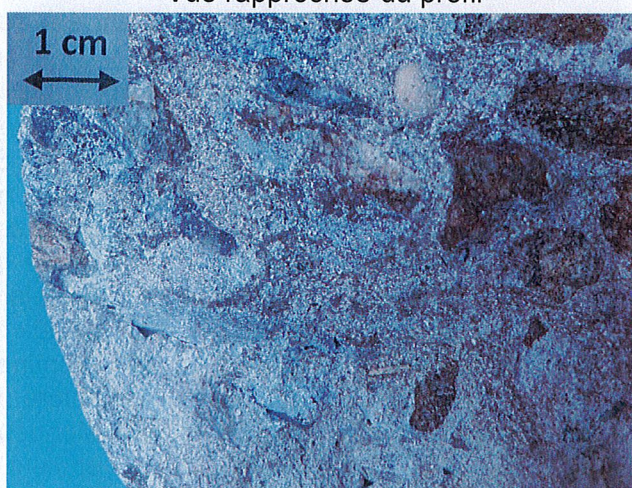


Photo n°21 Réf. : Banc photographique
Vue rapprochée de la sous-face

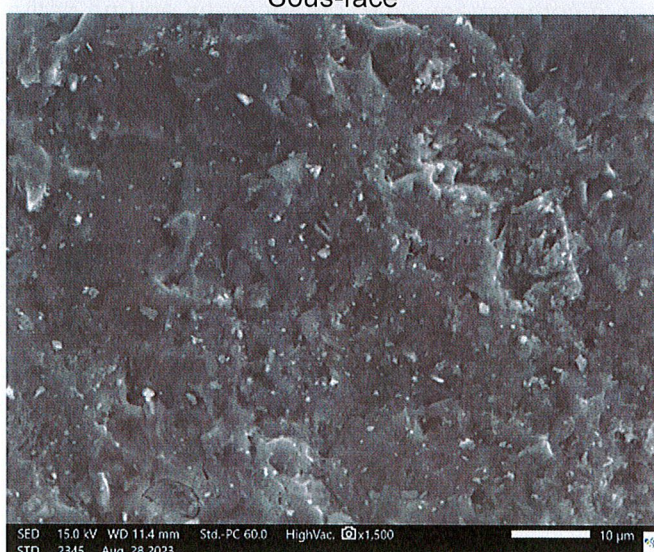
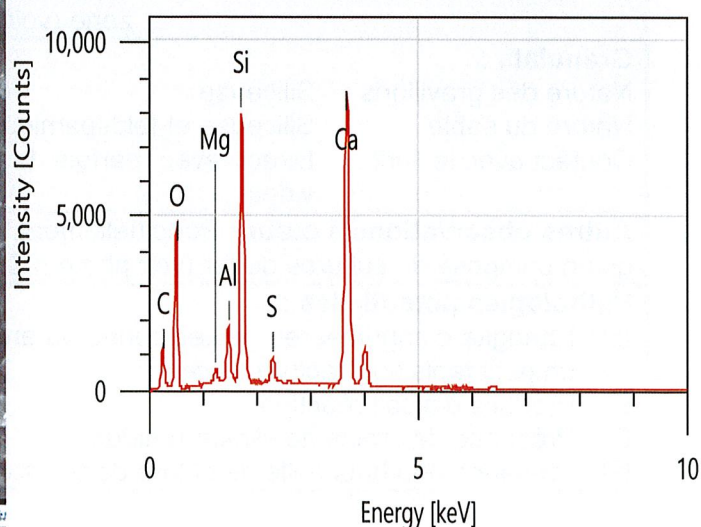


Photo n°22 Réf. : MEB
Aspect du liant granuleux à dense



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

C3 – Examen MEB sur fracture surface

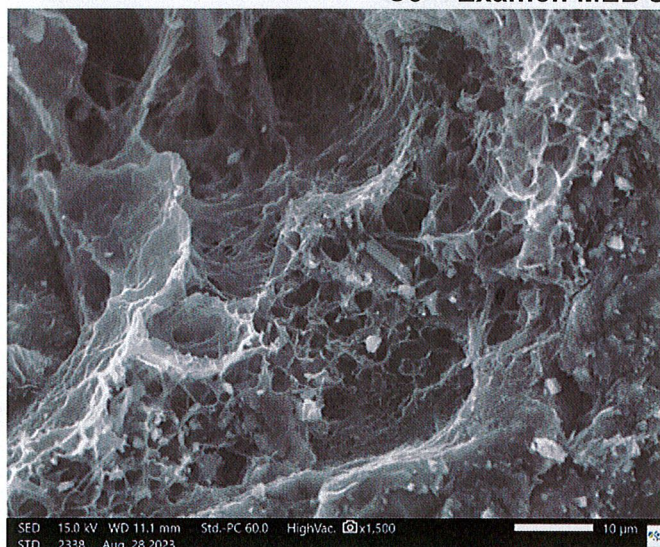
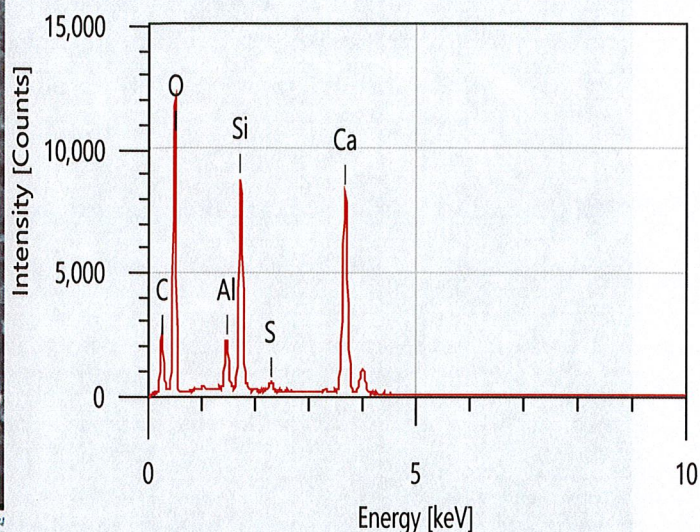


Photo n°23 Réf. : MEB
Aspect du liant alvéolaire



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

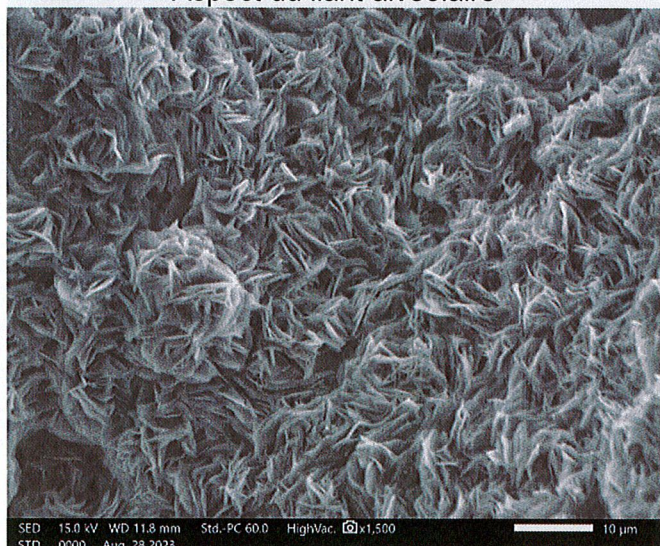
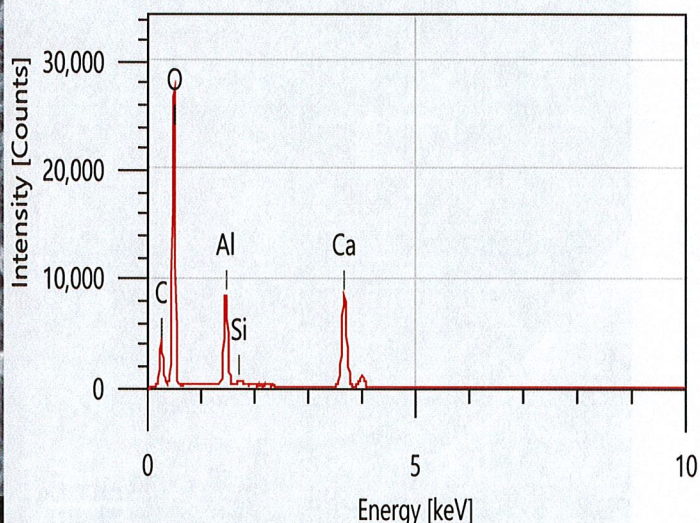


Photo n°24 Réf. : MEB
Aluminates de calcium hydratés



Spectre n°15 Réf. : EDS
Analyse indicative de la photo ci-contre

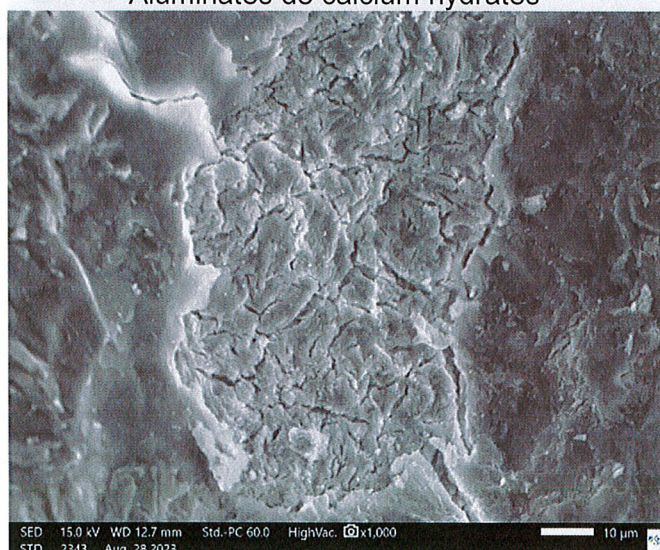
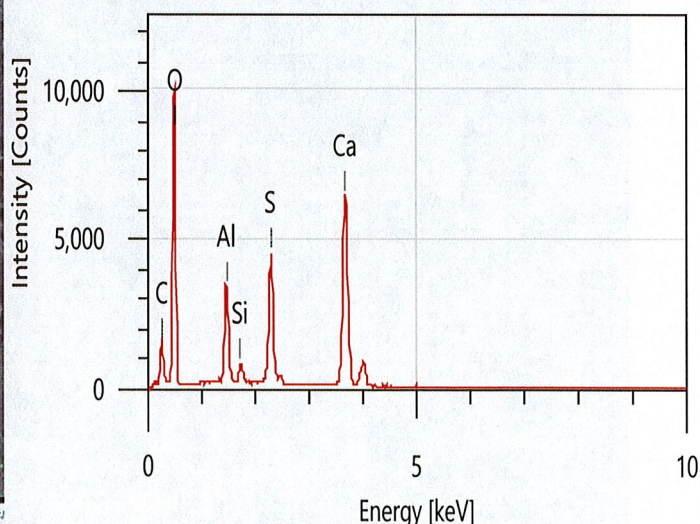


Photo n°25 Réf. : MEB
Tapis d'ettringite comprimée



Spectre n°16 Réf. : EDS
Analyse indicative de la photo ci-contre

C3 – Examen MEB sur fracture surface

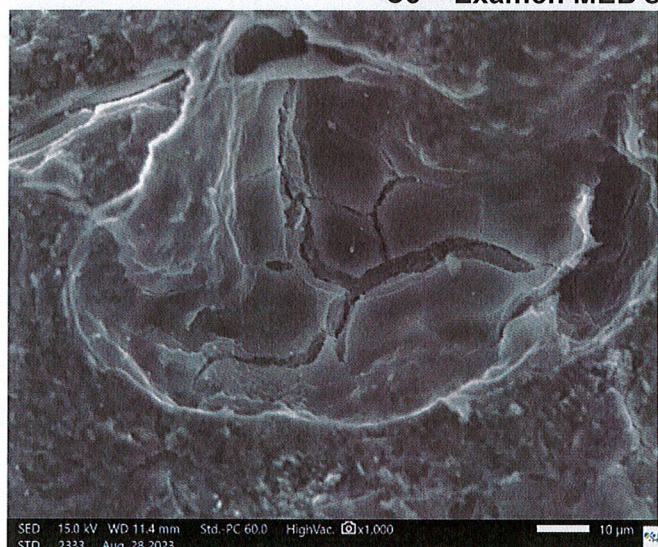
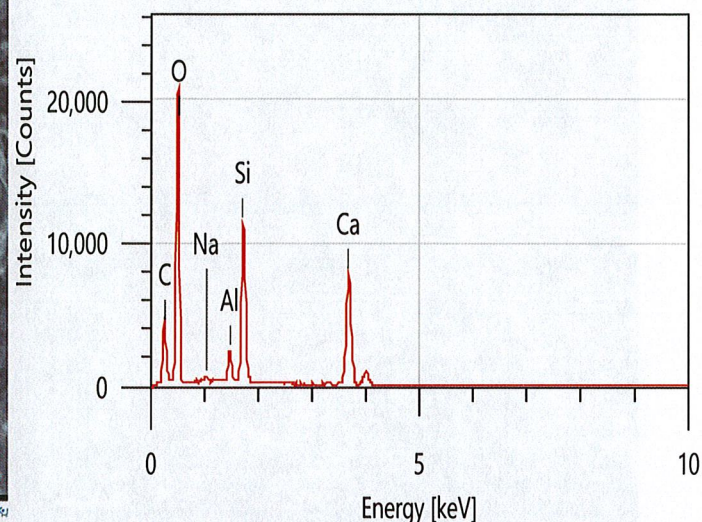


Photo n°26 Réf. : MEB
Zone d'aspect craquelé



Spectre n°17 Réf. : EDS
Analyse indicative de la photo ci-contre

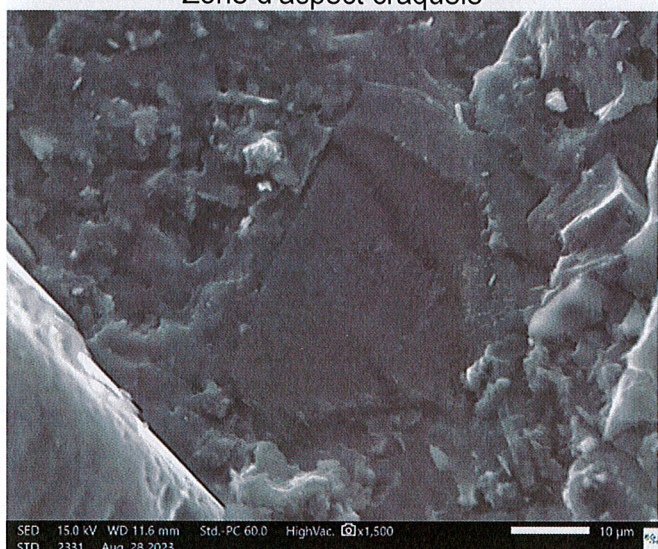
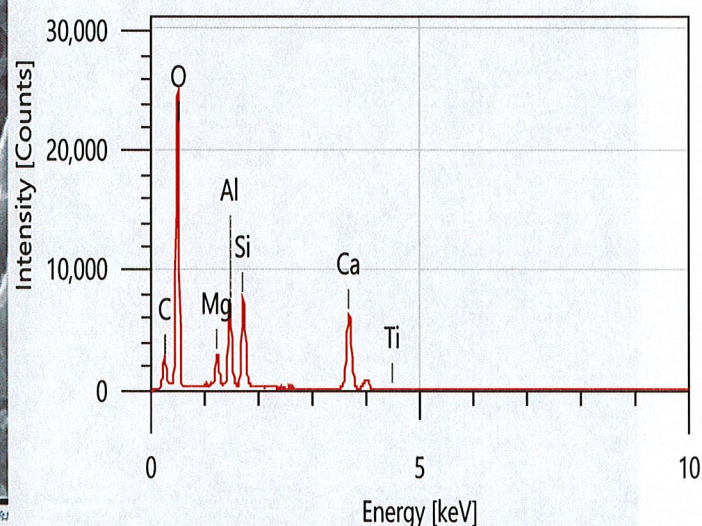


Photo n°27 Réf. : MEB
Laitier



Spectre n°18 Réf. : EDS
Analyse indicative de la photo ci-contre

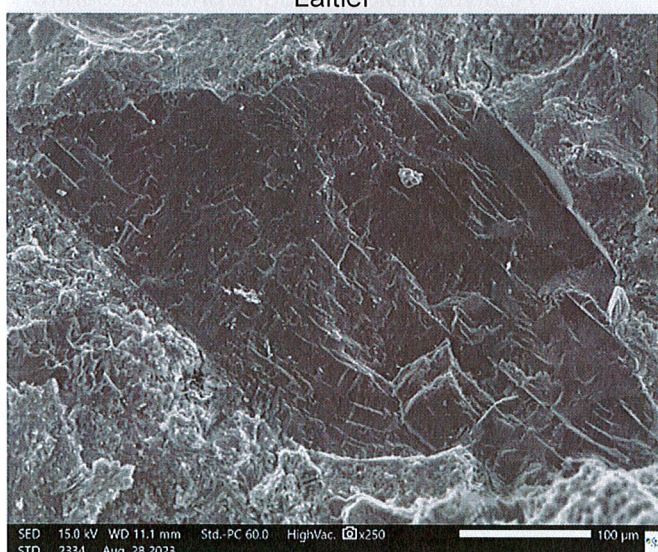
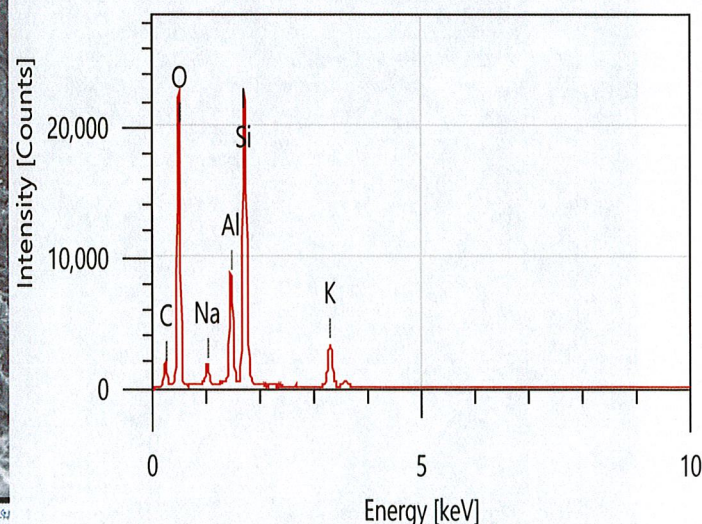


Photo n°28 Réf. : MEB
Feldspath



Spectre n°19 Réf. : EDS
Analyse indicative de la photo ci-contre

C3 – Examen MEB sur fracture à cœur

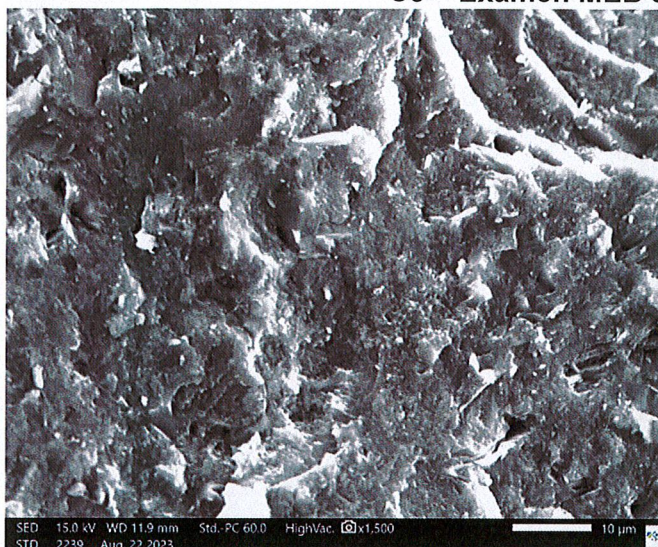
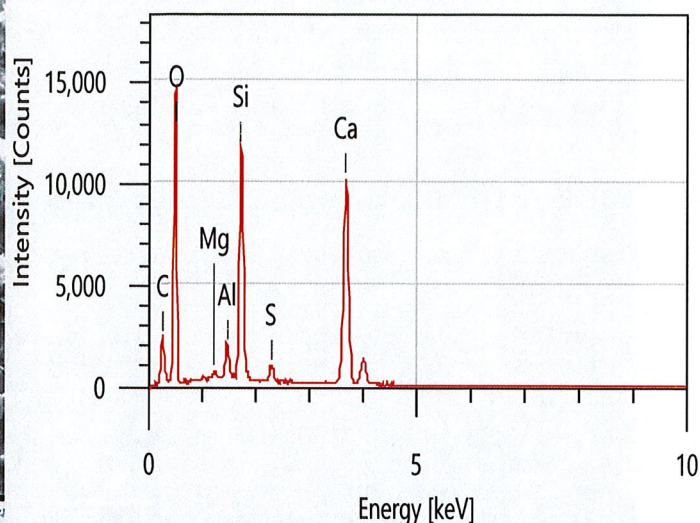


Photo n°29 Réf. : MEB
Aspect du liant granuleux à presque dense



Spectre n°20 Réf. : EDS
Analyse indicative de la photo ci-contre

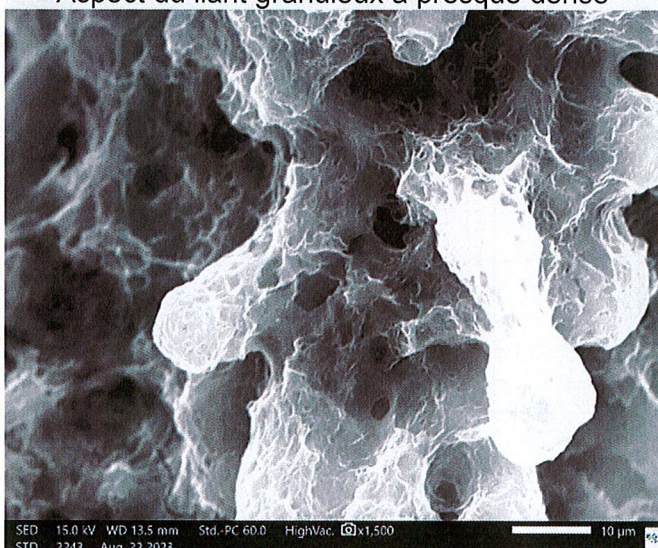
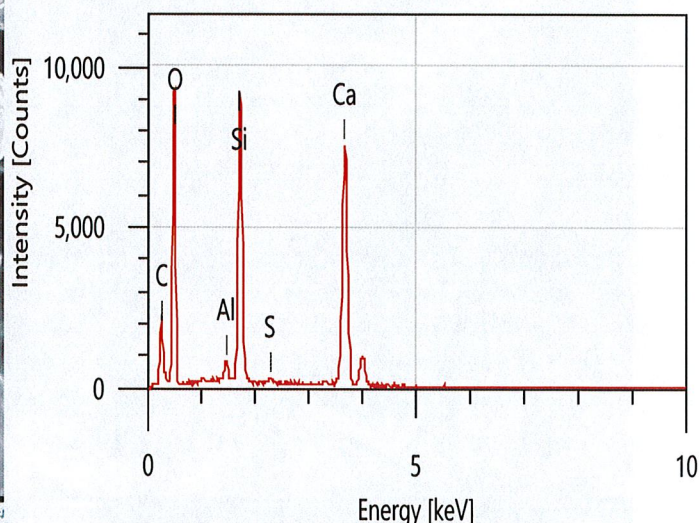


Photo n°30 Réf. : MEB
Aspect du liant alvéolaire



Spectre n°21 Réf. : EDS
Analyse indicative de la photo ci-contre

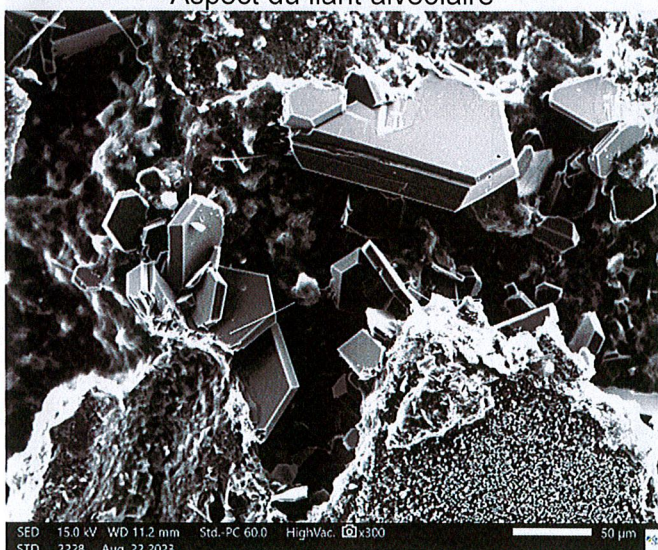
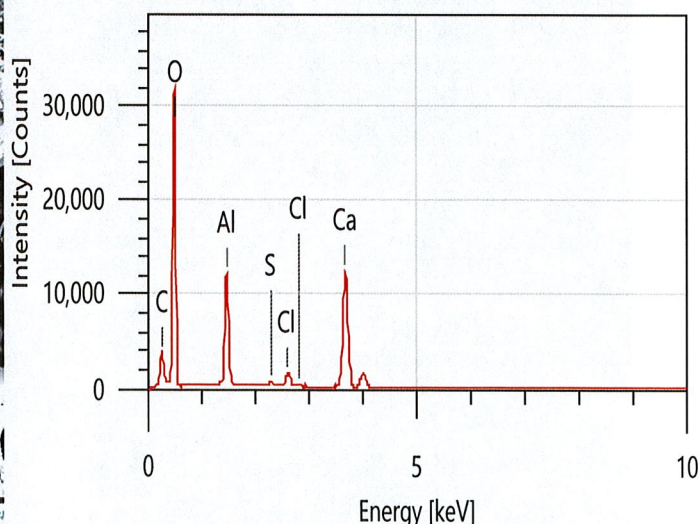


Photo n°31 Réf. : MEB
Aluminates de calcium hydratés



Spectre n°22 Réf. : EDS
Analyse indicative de la photo ci-contre

C3 – Examen MEB sur fracture à cœur

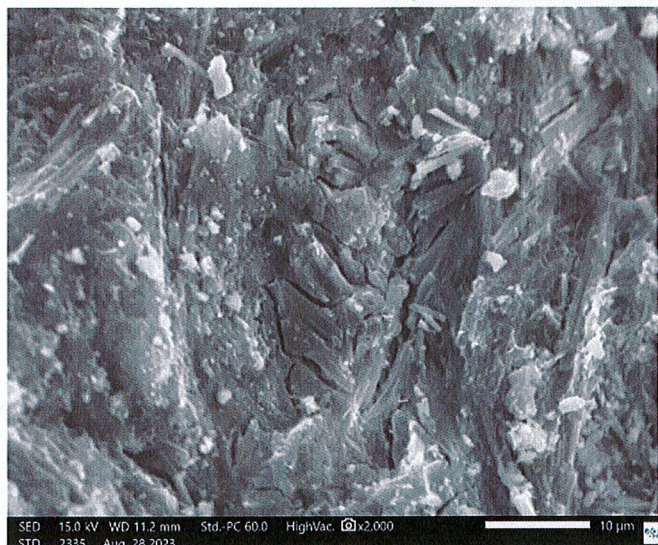
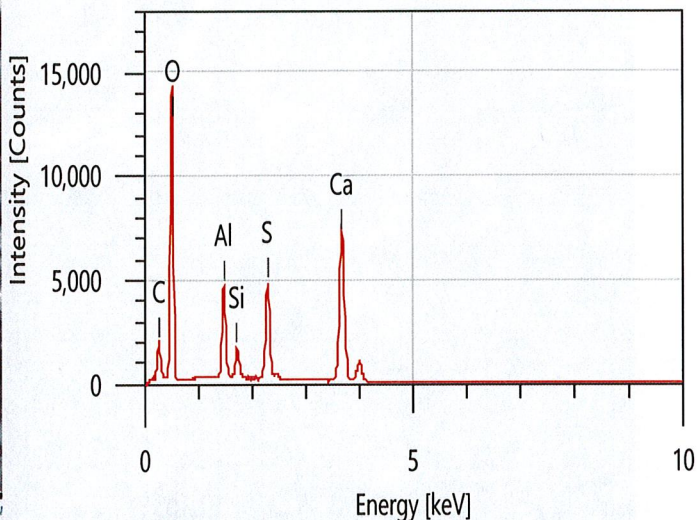


Photo n°32 Réf. : MEB
Petite zone d'ettringite



Spectre n°23 Réf. : EDS
Analyse indicative de la photo ci-contre

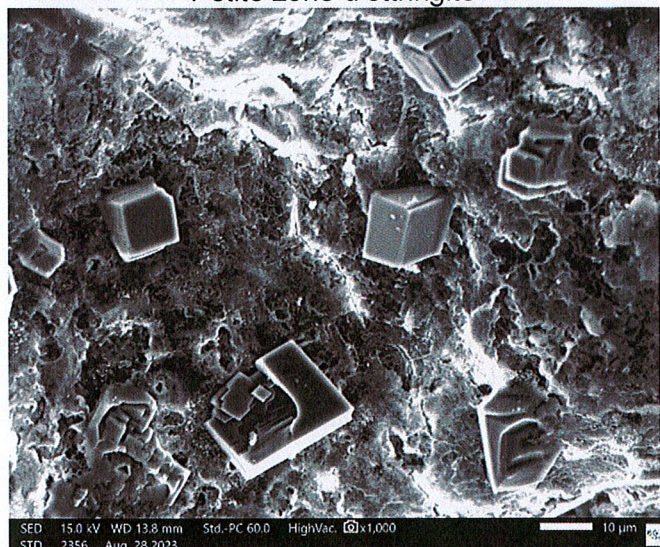
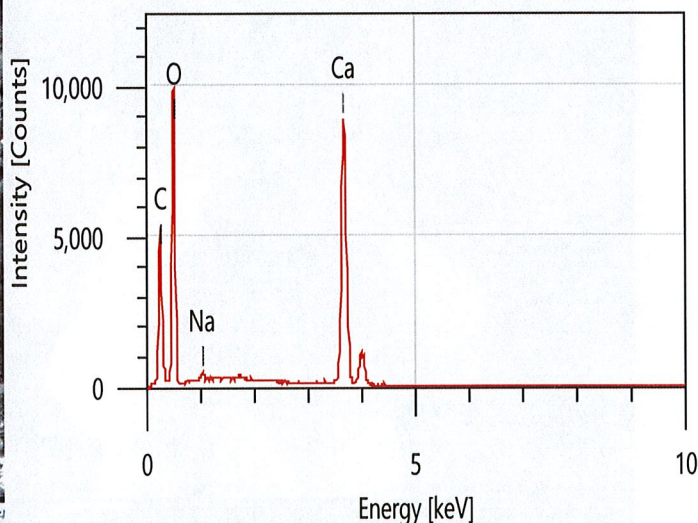


Photo n°33 Réf. : MEB
Calcite



Spectre n°24 Réf. : EDS
Analyse indicative de la photo ci-contre

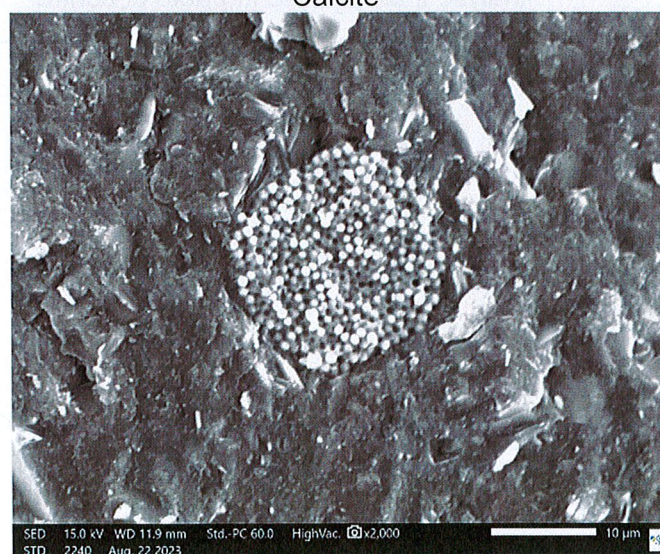
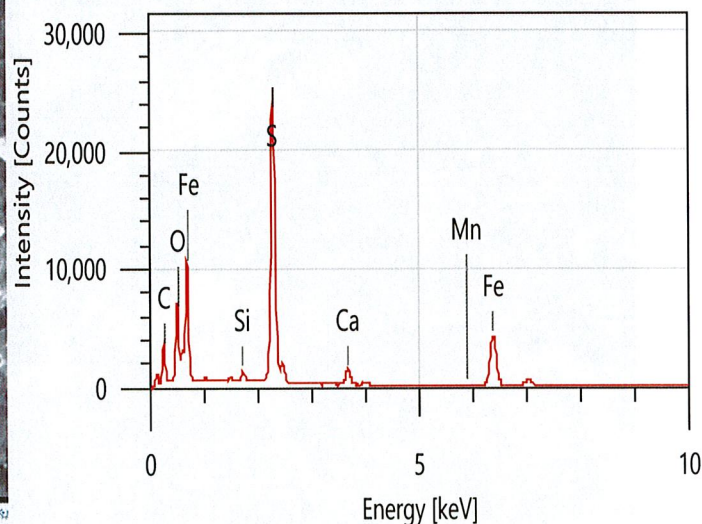


Photo n°34 Réf. : MEB
Composé de sulfures de fer



Spectre n°25 Réf. : EDS
Analyse indicative de la photo ci-contre

III-2- Dosage des alcalins libérables dans le béton des carottes C2 et C4

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

Références	Béton C2	Béton C4
Densité	2,21	2,20
Porosité (% volume des vides)	17,4	17,7
Na ₂ O (%)	0,02	0,06
K ₂ O (%)	0,10	0,13
Eq.Na₂O (%)	0,09	0,14
Eq.Na₂O (kg/m³)*	2,0	3,1

Teneurs en alcalins libérables dans le béton des carottes C2 et C4

* : La teneur en alcalins en kg/m³ correspond à la teneur en alcalins en pourcentage multipliée par 10 fois la densité du matériau.

III-3- Teneurs en sulfates dans les six poudres de béton

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

Référence	% silice	% ciment*	% SO ₃	% SO ₃ / ciment
Poudre P1 (0-2 cm)	6,37	24,5	0,46	1,88
Poudre P1 (2-4 cm)	3,64	14,0	0,29	2,07
Poudre P1 (4-6 cm)	3,88	14,9	0,36	2,41
Poudre P2 (0-2 cm)	5,66	21,8	0,52	2,39
Poudre P2 (2-4 cm)	3,63	14,0	0,33	2,36
Poudre P2 (4-6 cm)	3,37	13,0	0,29	2,24

Teneur en sulfates dans les six poudres de béton

* : La teneur en ciment est calculée par la méthode de la silice soluble conformément à GranDuBé en émettant l'hypothèse que le ciment des six poudres de béton titre 26 % de silice soluble (cas d'un ciment au laitier ; on note en effet, la présence, en quantité importante, de sulfures caractéristiques du laitier de haut fourneau).

IV- SYNTHESE

IV-1- Examen microstructuraux

Les résultats des examens microstructuraux sont rassemblés dans le tableau suivant :

Echantillon			C1	C3
Examen visuel	Description		Carotte : - Matériau gris : 4 mm - Matériau beige/gris : 6 mm - Béton gris	Carotte : - Matériau gris/beige : 5 mm - Béton gris
	Observations		Traces blanchâtres dans certaines porosités et en sous-face du béton	
	Test à la phénolphthaléine (sur le béton)		Coloration dès la surface du béton	
Examen MEB sur le béton	Liant	Compacité	FS et FC : granuleux à presque dense ou parfois alvéolaire	
		Analyse	FS et FC : classique	
	Ajout		Laitier	
	Ettringite comprimée		FS : en quelques ilots FC : en quelques ilots	FS : en petites zones ou parfois en rares tapis plus étendus FC : en un petit tapis
	Traces de chlore		Dans le liant sur FS et dans certains hydrates du béton	Dans certains hydrates du béton
	Autres observations		Quelques réseaux de microfissures sur fracture surface	Présence de quelques cristallisations de calcite et d'un composé de sulfures de fer sur fracture à cœur

Tableau de synthèse des examens microstructuraux

FS : fracture à proximité de la surface

FC : fracture à cœur

Les traces blanchâtres correspondant à d'abondantes formations ou aiguilles d'ettringite. Celles-ci ont parfois un faciès pathologique (ettringite comprimée), notamment dans l'échantillon C3.

IV-2- Dosage des alcalins libérables sur le béton des carottes C2 et C4



D'après le fascicule de documentation FD P18-464 qui traite des dispositions pour prévenir les phénomènes d'alcali-réaction, dans le cas des ciments présentant des teneurs en laitiers inférieures à 60 % et en l'absence de données sur la dispersion des teneurs en alcalins, on admet qu'une formule de béton convient à l'emploi de granulats potentiellement réactifs si la teneur moyenne en alcalins libérables (T_m) est inférieure à 3 kg/m^3 , et si la teneur maximale en alcalins libérables (T_{\max}) reste inférieure à $3,3 \text{ kg/m}^3$.

Dans le cas présent, la teneur en alcalins libérables dans le béton de la carotte C4 est supérieure à la limite T_m et inférieure à la limite T_{\max} présentées dans le fascicule de documentation.

Le béton de la carotte C2 présente quant à lui une teneur en alcalins libérables inférieure aux limites T_m et T_{\max} présentées dans le fascicule de documentation.

IV-3- Teneurs en sulfates

Concernant les teneurs en sulfates, à titre indicatif, d'après la norme EN 197-1, la teneur en sulfates exprimée en % de SO_3 rapportée à la masse de ciment, ne doit pas dépasser la valeur de 3,5 ou 4 % selon la classe de résistance du ciment. Dans le cas présent, les six poudres de béton présentent des teneurs en sulfates inférieures au seuil des 3,5 %.

Dossier rédigé par	
Mélodie NEANG Technicienne du laboratoire 	Héloïse TRAN Chargée d'Affaires 



LE RESEAU



La Réunion



Guyane



Martinique



Guadeloupe



Nouvelle
Calédonie



Polynésie



Maghreb

CONTACT

Agence de RENNES

ZA d'activité Beauséjour,
Rue de l'Aiguillage
35520 LA MEZIERE

Tél. : +33 (0)2 99 27 51 10

Email : cebtp.rennes@groupeginger.com

www.groupeginger.com