

Monsieur Claude EXPERT
308 rue Pasteur
33200 BORDEAUX

RAPPORT D'ETUDE – Département Diagnostic et Durabilité des Matériaux

RAPPORT N° 44574.001.01.A - 29 MAI 2019

● RECHERCHE DE L'ORIGINE DES DEGRADATIONS DU BETON DES
DECANTEURS LAMELLAIRES DE LA STATION D'EPURATION DE
BEGLES (33)

AFFAIRE BORDEAUX METROPOLE/DEGREMONT FRANCE



Prise de vue photographique du bassin du bâtiment 21



www.setec.fr

REFERENCES DE L'ETUDE

N° de dossier	18.44574
Rapport d'étude n°	44574.001.01.A
Réf. offre LERM	PE000719/DMAT
Réf. client – N° de commande	Bon pour accord-courrier du 21/12/18
Site ou Ouvrage	Station d'épuration de Bègles (33)
Nombre d'annexes	2
Rapports COFRAC	-

PRODUCTION

Rédacteurs	Relecteur	Assistante
Thibault LENORMAND Théo COLLIN	Abdelkrim AMMOUCHE	Murielle BERTELLO

DIFFUSION

Société	Exemplaire PDF	Mail
M. Claude EXPERT	1	Claude.expert@wanadoo.fr
LERM Grand Ouest	1	thibault.lenormand@setec.com theo.collin@setec.com
LERM Arles	1	thibault.lenormand@setec.com

Ce dossier a été réalisé dans une entreprise dont le système de management de la qualité est certifié ISO 9001 par AFAQ/AFNOR Certification.

COORDONNEES

Siège social	Chargé d'affaire
<p>Lerm setec 23 rue de la Madeleine CS 60136 13631 ARLES Cedex FRANCE</p> <p>Tél +33 4 86 52 65 00 Fax +33 4 90 96 25 27 contact@lerm.setec.fr www.lerm.fr</p>	<p>Thibault LENORMAND Ingénieur d'affaires 4 avenue Charles TILLON 35000 RENNES FRANCE</p> <p>Tel +33 2 99 44 46 05 Mob +33 6 64 37 88 75 thibault.lenormand@setec.com</p>

1 —	Objet de l'étude	4
2 —	Programme de l'étude	4
3 —	Investigations sur site	5
4 —	Identification des échantillons et examen macroscopique	8
5 —	Essais en laboratoire	9
5.1	Identification de la nature du liant par microscopie optique	10
5.1	Mesure des masses volumique et de la porosité accessible à l'eau	11
5.2	Détermination de la teneur en silice soluble	12
5.3	Analyse thermogravimétrique	13
5.4	Estimation du dosage en ciment et du rapport E_{eff}/C	14
5.5	Détermination des teneurs en ammonium, nitrates, sulfates, chlorures	17
5.6	Examens au microscope électronique à balayage	21
6 —	Synthèse	32
7 —	Conclusion	34
	Annexe 1 – Prises de vues photographiques des échantillons	36
	Annexe 2 – Thermogrammes	41

Mots clés : station d'épuration de Bègles, béton, dégradation, H₂S, attaque acide, acide sulfurique

1 — Objet de l'étude

A la demande et pour le compte de Monsieur Claude EXPERT, expert de justice, le LERM a été chargé, en janvier 2019, d'une étude ayant pour objectif de rechercher l'origine des dégradations du béton des décanteurs lamellaires de la station d'épuration de Bègles (33).

2 — Programme de l'étude

Conformément au programme proposé, les investigations sur site et essais en laboratoire ont été les suivants :

Investigations sur site

- examen succinct des désordres, implantation des zones de prélèvements en concertation avec l'Expert et les Parties ;
- détection et positionnement des aciers par mesures pachométriques/radar en vue d'implanter les prélèvements ;
- prélèvement par carottage diamanté sous eau et rebouchage sans finition à l'aide d'un mortier prêt à l'emploi.

Essais en laboratoire

- description et examen macroscopique avec prises de vues photographiques ;
- identification de la nature du liant par microscopie optique en lumière réfléchie ;
- estimation du dosage en ciment par la méthode de la silice soluble et du rapport Eeff/C comprenant :
 - o la détermination des masses volumiques et de la porosité accessible à l'eau ;
 - o la détermination de la teneur en silice soluble ;
 - o la détermination de la teneur en eau liée aux hydrates par analyse thermogravimétrique ;
- détermination en quatre profondeurs (0-15 mm, 15-30 mm, 30-45 mm, 45-60 mm) des teneurs en :
 - o sulfates par chromatographie ionique après attaque acide ménagée
 - o chlorures totaux après extraction aqueuse
 - o nitrates par chromatographie ionique après extraction aqueuse
 - o ammonium par colorimétrie après extraction aqueuse ;
- examen au microscope électronique à balayage (MEB) couplé au spectromètre X à dispersion d'énergie. : caractérisation de la microstructure de la pâte de ciment et recherche d'éventuels signes d'altération. Recherche de la profondeur de dégradation.

3 — Investigations sur site

Les investigations sur site se sont déroulées le 20 février 2019 en présence de Monsieur l'Expert et des Parties.

Ces investigations ont consisté au prélèvement contradictoire de six éprouvettes de béton par carottage diamanté sous eau.

Le Tableau 1 présente la localisation des différents échantillons.

Localisation		Distance par rapport à la partie supérieure du bassin (cm)	Réf. LERM
Bâtiment 22	Zone émergée	22	44574-1
	Zone de marnage	45	44574-2
	Zone immergée	65	44574-3
Bâtiment 21	Zone émergée	30	44574-4
	Zone de marnage	44	44574-5
	Zone immergée	60	44574-6

Tableau 1 : Localisation des zones de prélèvement

Les zones de prélèvement sont illustrées par les figures ci-après (Fig. 1 à Fig. 4).

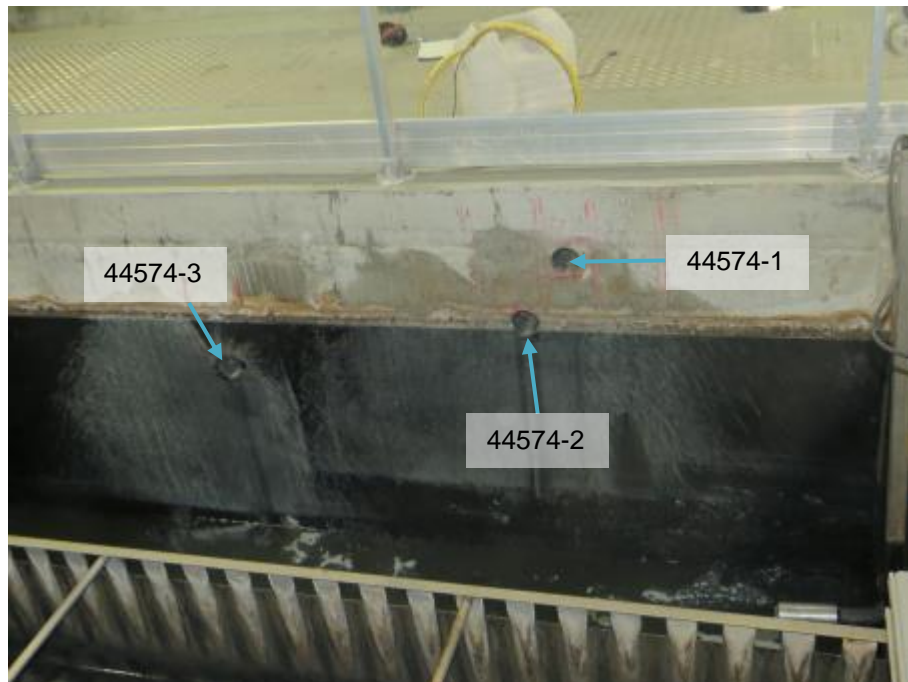


Fig. 1 : Prise de vue photographique de la zone de prélèvement des échantillon 44574-1 à 3, bâtiment 22



Fig. 2 : Aspect du béton en zone de marnage, à proximité du prélèvement 44574-2, bâtiment 22

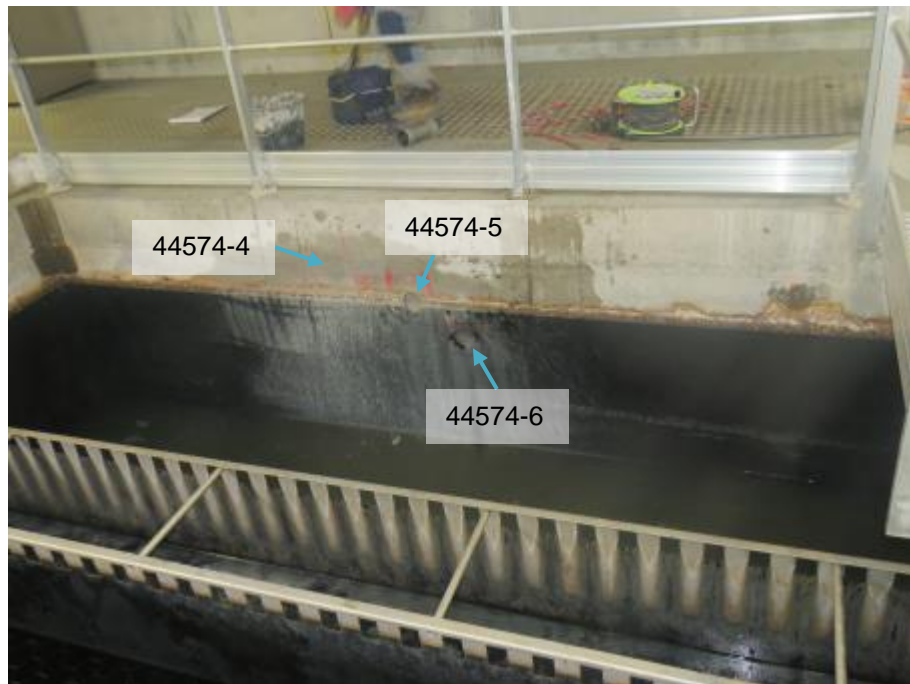


Fig. 3 : Prise de vue photographique de la zone de prélèvement des échantillon 44574-4 à 6, bâtiment 21



Fig. 4 : Aspect du béton en zone de marnage, à proximité du prélèvement 44574-5, bâtiment 21

4 — Identification des échantillons et examen macroscopique

Le Tableau 2 donne les références, les points particuliers et les dimensions des carottes prélevées le 20 février 2019. Elles sont par ailleurs illustrées par les figures disponibles en annexe 1. Le béton de ces carottes est composé d'une pâte de ciment grise et de granulats roulés dont le diamètre maximal avoisine 20 mm. Quelques vacuoles sont observées, de manière courante pour un béton.

Réf. LERM	Localisation		Points particuliers	Dimensions
44574-1	Bâtiment 22	Zone émergée	Surface lisse. Présence d'une armature de diamètre 14 mm à 50 mm de profondeur.	Ø = 79 mm L = 159 mm
44574-2		Zone de marnage	Surface creusée selon une bande horizontale, où les granulats apparaissent en relief de la matrice cimentaire altérée. Des dépôts blancs sont présents en partie supérieure de cette zone dégradée. Au-dessus de cette zone, la surface du béton présente le même aspect que le béton de la zone émergée. Au-dessous de cette zone, la surface du béton présente le même aspect que le béton de la zone immergée. Présence d'une armature de diamètre 14 mm à 74 mm de profondeur.	Ø = 79 mm L = 194 mm
44574-3		Zone immergée	Surface recouverte d'un fin dépôt marron. Le béton présente deux zones appauvries en granulats, en parties supérieures et inférieures de la carotte (voir Fig. 63 page 38, en annexe 1).	Ø = 79 mm L = 187 mm
44574-4	Bâtiment 21	Zone émergée	Surface lisse.	Ø = 79 mm L = 165 mm
44574-5		Zone de marnage	Surface creusée selon une bande horizontale, où les granulats apparaissent en relief de la matrice cimentaire altérée. Des dépôts blancs sont présents en partie supérieure de cette zone dégradée. Au-dessus de cette zone, la surface du béton présente le même aspect que le béton de la zone émergée. Au-dessous de cette zone, la surface du béton présente le même aspect que le béton de la zone immergée. Présence d'une armature de diamètre 14 mm à 49 mm de profondeur.	Ø = 79 mm L = 167 mm
44574-6		Zone immergée	Surface recouverte d'un fin dépôt marron.	Ø = 79 mm L = 164 mm

Tableau 2 : Identification des échantillons

5 — Essais en laboratoire

Le Tableau 3 ci-après donne la répartition des essais réalisés pour les différents échantillons.

Réf. LERM	44574-1	44574-2	44574-3	44574-4	44574-5	44574-6
Localisation	Bâtiment 22			Bâtiment 21		
	Zone émergée	Zone de marnage	Zone immergée	Zone émergée	Zone de marnage	Zone immergée
Examen macroscopique	X	X	X	X	X	X
Identification de la nature du liant	X			X		
Détermination de la teneur en silice soluble	X	X	X	X	X	X
Détermination des masses volumiques et de la porosité accessible à l'eau	X	X	X	X	X	X
Analyse thermogravimétrique	X	X	X	X	X	X
Détermination des teneurs en sulfates, chlorures, nitrates et ammonium	X	X	X	X	X	X
Examen au microscope électronique à balayage	X	X	X	X	X	X

Tableau 3 : Répartition des essais

5.1 Identification de la nature du liant par microscopie optique

L'identification du liant des échantillons 44574-1 (zone émergée du bâtiment 22) et 4 (zone émergée du bâtiment 21) a été réalisée par microscopie optique en lumière réfléchie sur sections polies. Les examens réalisés ont permis de mettre en évidence les points essentiels suivants, illustrés par les figures ci-après (cf. Fig. 5 et Fig. 6) :

- × la charge granulaire est de nature majoritairement siliceuse ;
- × la matrice cimentaire, peu poreuse à microporeuse par endroit, présente quelques microfissures. Le contact entre le granulat et la matrice est étroit. La matrice cimentaire renferme des grains de clinker à l'état d'hydratation peu avancé à avancé, de diamètre pouvant atteindre 50 μm ;
- × compte tenu de la classification actuelle des ciments (norme NF EN 197-1) et de ces observations, le liant constitutif de ce béton peut s'apparenter à un ciment **Portland de type CEM I**.

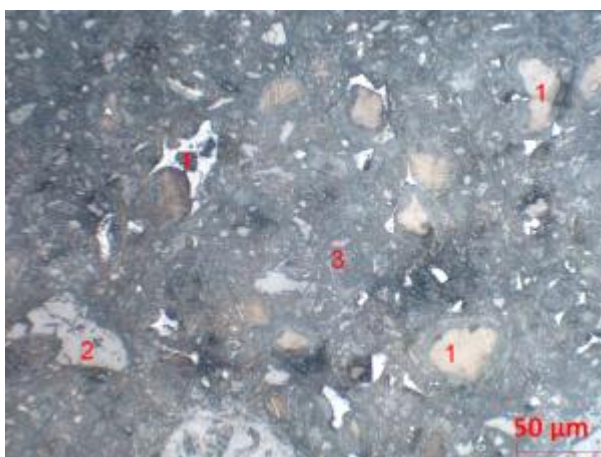


Fig. 5 : Microscopie optique en lumière réfléchie. Echantillon 44574-1
1 : clinkers, 2 : grain siliceux, 3 : matrice cimentaire

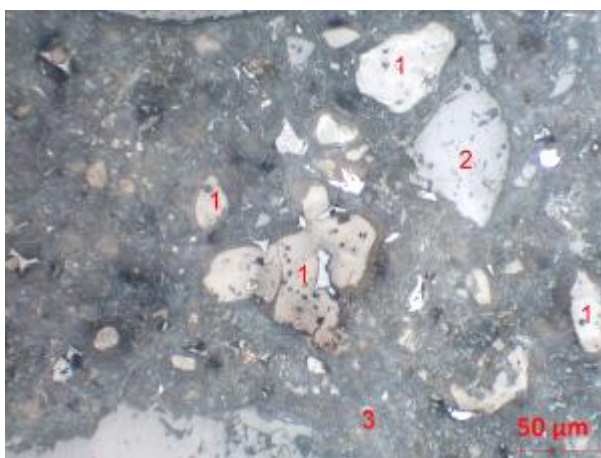


Fig. 6 : Microscopie optique en lumière réfléchie. Echantillon 44574-4
1 : clinker, 2 : grain siliceux, 3 : matrice cimentaire

5.1 Mesure des masses volumique et de la porosité accessible à l'eau

La porosité accessible à l'eau et les masses volumiques apparente et réelle imbibée ont été mesurées par imbibition sous vide et pesée hydrostatique, selon le mode opératoire recommandé par l'AFPC-AFREM.

La masse volumique apparente (Mv_{app}) est égale au quotient de la masse de l'échantillon sec (m_s) et de la différence entre la masse imbibée (m_{imb}) et la masse dans l'eau (m_e) :

$$Mv_{app} = \frac{m_s}{m_{imb} - m_e}, \text{ en } kg/m^3$$

La porosité accessible à l'eau (p_{eau}) est calculée par la relation suivante :

$$p_{eau} = 100 \cdot \frac{m_{imb} - m_s}{m_{imb} - m_e}, \text{ en } \%$$

En complément, la masse volumique imbibée ($Mv_{réelle}$) est égale au quotient de la masse de l'échantillon imbibé (m_{imb}) et de la différence entre la masse imbibée (m_{imb}) et la masse dans l'eau (m_e) :

$$Mv_{réelle} = \frac{m_{imb}}{m_{imb} - m_e}, \text{ en } kg/m^3$$

Les résultats obtenus sont présentés dans le Tableau 4 ci-après.

Réf. LERM	Localisation		Masse volumique réelle (kg/m^3)	Masse volumique apparente (kg/m^3)	Porosité accessible à l'eau (%)
44574-1	Bâtiment 22	Zone émergée	2320	2210	11,3
44574-2		Zone de marnage	2330	2210	11,6
44574-3		Zone immergée	2360	2220	14,3
44574-4	Bâtiment 21	Zone émergée	2410	2300	10,6
44574-5		Zone de marnage	2420	2320	10,3
44574-6		Zone immergée	2420	2320	10,0

Tableau 4 : Masses volumiques et porosité des échantillons de béton 44574-1 à 6

Les porosités obtenues, traduisent une compacité des bétons élevée à moyenne (échantillon 44574-3).

Les échantillons du bâtiment 21 ont des porosités homogènes et relativement plus faibles.

5.2 Détermination de la teneur en silice soluble

Les analyses chimiques visant à déterminer les teneurs en silice et alumine solubles contenues dans le liant des échantillons 44574-1 à 6 ont été réalisées par attaque à l'aide d'une solution diluée d'acide chlorhydrique 1/50^{ème}.

Le dosage du résidu insoluble est effectué par calcination après filtration de la solution obtenue après attaque à l'acide chlorhydrique.

Les résultats obtenus sont reportés dans le Tableau 5.

Réf. LERM	Localisation		Résidu insoluble (en % massique)	Silice (SiO ₂) soluble (en % massique)	Alumine (Al ₂ O ₃) soluble (en % massique)
44574-1	Bâtiment 22	Zone émergée	74,5	4,41	0,95
44574-2		Zone de marnage	74,8	4,35	1,04
44574-3		Zone immergée	74,7	4,41	0,77
44574-4	Bâtiment 21	Zone émergée	76,9	4,08	0,66
44574-5		Zone de marnage	75,8	4,37	0,67
44574-6		Zone immergée	78,3	4,01	0,74

Tableau 5 : Résultats des analyses chimiques des échantillons de béton 44574-1 à 6

5.3 Analyse thermogravimétrique

Les analyses thermogravimétriques, effectuées sous azote, mettent en évidence des pertes de poids, exprimées en pourcentage massique et présentées dans le Tableau 6, et dont l'interprétation est reportée dans le Tableau 7. Ces essais ont été réalisés entre 20 °C et 1000 °C. Les thermogrammes correspondant sont fournis en annexe 2.

Réf. LERM	44574-1	44574-2	44574-3	44574-4	44574-5	44574-6
Localisation	Bâtiment 22			Bâtiment 21		
	Zone émergée	Zone de marnage	Zone immergée	Zone émergée	Zone de marnage	Zone immergée
Eau libre résiduelle < 80 °C	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2
Eau liée : de 80 à 600 °C	4,2	4,0	4,0	3,6	3,8	3,4
Dont H ₂ O de Ca(OH) ₂	1,1	1,1	1,1	1,0	1,0	0,9
De 600 à 1000 °C	1,0	1,1	1,0	0,7	0,8	0,7
Dont CO ₂ de CaCO ₃	0,6	0,7	0,5	0,4	0,4	0,4
Perte totale	5,4	5,4	5,2	4,6	4,8	4,4

Tableau 6 : Analyse thermogravimétrique des échantillons de béton 44574-1 à 6 (% massique)

Réf. LERM	44574-1	44574-2	44574-3	44574-4	44574-5	44574-6
Localisation	Bâtiment 22			Bâtiment 21		
	Zone émergée	Zone de marnage	Zone immergée	Zone émergée	Zone de marnage	Zone immergée
Ca(OH) ₂	4,5	4,5	4,5	4,1	4,1	3,7
CaCO ₃	1,4	1,6	1,1	0,9	0,9	0,9

Tableau 7 : Interprétation des résultats de l'analyse thermique des échantillons de béton 44574-1 à 6 (% massique)

5.4 Estimation du dosage en ciment et du rapport E_{eff}/C

Le calcul du dosage en ciment est effectué à l'aide de la formule suivante :

$$D = \frac{S_{béton}}{S_{ciment}} \cdot Mv_{app}$$

- avec
- D : dosage en ciment du béton, en kg/m^3 ,
 - $S_{béton}$: silice soluble du béton, en % massique,
 - S_{ciment} : silice soluble du ciment, en % massique,
 - Mv_{app} : masse volumique apparente du béton, en kg/m^3 .

La quantité de silice soluble théorique contenue dans le liant est estimée à 21 % dans le cas d'un ciment Portland de type **CEM I**.

De plus, les résultats de l'analyse thermogravimétrique couplés aux mesures des masses volumiques réelles et apparentes en tenant compte de l'air occlus et de l'absorption des granulats, permettent d'estimer la quantité d'eau efficace de gâchage (E_{eff}) des bétons, à l'aide de la relation suivante :

$$E_{eff} = (Mv_{réelle} - Mv_{app}) + E_{liée} \cdot Mv_{app} - \text{air occlus} - E_{abs\ gr}$$

- avec
- E_{eff} : eau efficace de gâchage, en kg/m^3 ,
 - $Mv_{réelle}$: masse volumique réelle, en kg/m^3 ,
 - Mv_{app} : masse volumique apparente, en kg/m^3 ,
 - $E_{liée}$: eau liée, en pourcentage massique,
 - air occlus : masse d'eau remplissant l'air occlus supposé saturé, en kg/m^3 ,
 - $E_{abs\ gr}$: eau absorbée par les granulats, en kg/m^3 .

Au regard des résultats du dosage en ciment et de l'estimation de l'eau de gâchage, le rapport pondéral « Eau efficace de gâchage / Ciment » (E_{eff}/C) est alors calculé.

Les résultats sont présentés dans les Tableau 8 et Tableau 9.

Réf. LERM	44574-1	44574-2	44574-3
Localisation	Bâtiment 22		
	Zone émergée	Zone de marnage	Zone immergée
Masses volumiques			
Masse volumique réelle (kg/m ³ de béton)	2320	2330	2360
Masse volumique apparente (kg/m ³ de béton)	2210	2210	2220
Dosage en granulats			
Estimation de la quantité de granulats (kg/m ³)	1677	1688	1661
Dosage en ciment			
Nature du ciment (hypothèse suite à l'examen microscopique)	CEM I	CEM I	CEM I
Silice soluble du béton (% massique)	4,41	4,35	4,41
Silice soluble théorique du ciment (% massique)	21	21	21
Dosage en ciment (kg/m³ de béton)	465 ± 45	460 ± 45	465 ± 45
Dosage en eau efficace de gâchage			
Eau libre (kg/m ³ de béton)	110	120	140
Eau liée (kg/m ³ de béton)	95	90	90
Quantité d'air occlus * (kg/m ³ de béton)	30	30	30
Eau absorbée par les granulats ** (kg/m ³ de béton)	16,8	16,9	16,6
Eau efficace de gâchage (kg/m³ de béton)	160	165	185
Rapport E_{eff}/C ***	0,34 ± 0,04	0,36 ± 0,04	0,40 ± 0,04

Tableau 8 : Estimation du dosage en ciment du béton des échantillons 44574-1 à 3, provenant du bâtiment 22

* quantité d'air occlus estimée à 30 kg/m³

** calculé en considérant une absorption moyenne des granulats de 1 %

*** : calculés en tenant compte de l'incertitude sur le dosage en ciment (± 10 %)

Réf. LERM	44574-4	44574-5	44574-6
Localisation	Bâtiment 21		
	Zone émergée	Zone de marnage	Zone immergée
Masses volumiques			
Masse volumique réelle (kg/m ³ de béton)	2410	2420	2420
Masse volumique apparente (kg/m ³ de béton)	2300	2320	2320
Dosage en granulats			
Estimation de la quantité de granulats (kg/m ³)	1771	1761	1819
Dosage en ciment			
Nature du ciment (hypothèse suite à l'examen microscopique)	CEM I	CEM I	CEM I
Silice soluble du béton (% massique)	4,08	4,37	4,01
Silice soluble théorique du ciment (% massique)	21	21	21
Dosage en ciment (kg/m³ de béton)	445 ± 45	485 ± 50	445 ± 45
Dosage en eau efficace de gâchage			
Eau libre (kg/m ³ de béton)	110	100	100
Eau liée (kg/m ³ de béton)	85	90	90
Quantité d'air occlus * (kg/m ³ de béton)	30	30	30
Eau absorbée par les granulats ** (kg/m ³ de béton)	17,7	17,6	18,2
Eau efficace de gâchage (kg/m³ de béton)	145	140	130
Rapport E_{eff}/C ***	0,33 ± 0,03	0,29 ± 0,03	0,29 ± 0,04

Tableau 9 : Estimation du dosage en ciment du béton des échantillons 44574-4 à 6, provenant du bâtiment 21

 * quantité d'air occlus estimée à 30 kg/m³

** calculé en considérant une absorption moyenne des granulats de 1 %

*** : calculés en tenant compte de l'incertitude sur le dosage en ciment (± 10 %)

5.5 Détermination des teneurs en ammonium, nitrates, sulfates, chlorures

Le dosage en agents chimiques a été réalisé par :

- potentiométrie après attaque acide ménagée pour les chlorures totaux (Cl^-) ;
- chromatographie ionique après attaque acide ménagée pour les sulfates (SO_3) ;
- chromatographie ionique après extraction aqueuse pour les nitrates (NO_3^-) ;
- colorimétrie après extraction aqueuse pour l'ammonium (NH_4^+).

Les analyses ont été réalisées à quatre profondeurs (0-15 mm, 15-30 mm, 30-45 mm, 45-60 mm).

Les résultats obtenus, exprimés en pourcentage massique du béton, sont reportés dans le Tableau 10.

Les teneurs par rapport au ciment sont calculées à partir des masses volumiques apparentes et des dosages en ciments. Les résultats sont présentés dans le Tableau 11.

Réf. LERM	Localisation	Profondeur du prélèvement (cm)	Teneur en chlorures (Cl ⁻)	Teneur en sulfates (SO ₃)	Teneur en nitrates (NO ₃ ⁻)	Teneur en ammonium (NH ₄ ⁺)
			(% massique du béton)			
44574-1	Bâtiment 22 Zone émergée	0-15	0,03	0,55	0,00	0,48
		15-30	0,01	0,38	0,00	0,29
		30-45	0,01	0,45	0,00	0,33
		45-60	0,02	0,55	0,00	0,38
44574-2	Bâtiment 22 Zone de marnage	0-15	0,07	1,39	0,06	0,34
		15-30	0,06	0,49	0,04	0,42
		30-45	0,03	0,53	0,02	0,42
		45-60	0,02	0,51	0,00	0,40
44574-3	Bâtiment 22 Zone immergée	0-15	0,02	0,88	0,00	0,39
		15-30	0,02	0,89	0,00	0,40
		30-45	0,01	0,70	0,00	0,35
		45-60	0,01	0,39	0,00	0,37
44574-4	Bâtiment 21 Zone émergée	0-15	0,01	0,52	0,00	0,33
		15-30	0,01	0,40	0,00	0,31
		30-45	0,01	0,43	0,00	0,31
		45-60	0,01	0,51	0,00	0,30
44574-5	Bâtiment 21 Zone de marnage	0-15	0,05	2,08	0,06	0,47
		15-30	0,04	0,46	0,04	0,34
		30-45	0,01	0,46	0,01	0,39
		45-60	0,01	0,34	0,00	0,29
44574-6	Bâtiment 21 Zone immergée	0-15	0,01	0,51	0,00	0,43
		15-30	0,01	0,40	0,00	0,26
		30-45	0,01	0,42	0,00	0,36
		45-60	0,01	0,48	0,00	0,35

Tableau 10 : Résultats du dosage en agents chimiques (% massique du béton)

Réf. LERM	Localisation	Profondeur du prélèvement (cm)	Teneur en chlorures (Cl ⁻)	Teneur en sulfates (SO ₃)	Teneur en nitrates (NO ₃ ⁻)	Teneur en ammonium (NH ₄ ⁺)
			(% massique du ciment)			
44574-1	Bâtiment 22 Zone émergée	0-15	0,13	2,72	0,01	2,34
		15-30	0,05	1,89	0,00	1,43
		30-45	0,06	2,22	0,00	1,60
		45-60	0,08	2,72	0,00	1,86
44574-2	Bâtiment 22 Zone de marnage	0-15	0,33	6,83	0,27	1,69
		15-30	0,29	2,40	0,22	2,04
		30-45	0,12	2,59	0,08	2,07
		45-60	0,07	2,50	0,00	1,98
44574-3	Bâtiment 22 Zone immergée	0-15	0,12	4,31	0,00	1,94
		15-30	0,09	4,37	0,00	1,96
		30-45	0,07	3,45	0,00	1,73
		45-60	0,05	1,94	0,00	1,83
44574-4	Bâtiment 21 Zone émergée	0-15	0,07	2,56	0,01	1,63
		15-30	0,06	1,97	0,00	1,52
		30-45	0,05	2,10	0,00	1,54
		45-60	0,05	2,51	0,00	1,46
44574-5	Bâtiment 21 Zone de marnage	0-15	0,24	10,21	0,29	2,28
		15-30	0,18	2,28	0,20	1,68
		30-45	0,05	2,24	0,04	1,90
		45-60	0,05	1,67	0,00	1,44
44574-6	Bâtiment 21 Zone immergée	0-15	0,07	2,51	0,00	2,10
		15-30	0,05	1,95	0,00	1,29
		30-45	0,05	2,05	0,00	1,76
		45-60	0,07	2,35	0,00	1,73

Tableau 11 : Résultats du dosage en agents chimiques (% massique du ciment)

Les valeurs de sulfates notées en **rouge** sont supérieures à la limite maximale caractéristique de 3,5 % ou de 4,0 % (exprimée par rapport à la masse de ciment) donnée par la norme NF EN 197-1, définie selon la classe de résistance du ciment

Ces résultats appellent les commentaires suivants :

- aucune pollution en chlorures n'est décelée. Les teneurs calculées par rapport à la masse de ciment sont inférieures à la limite maximale de 0,4 % pour les ciments de type CEM I dans le cas des bétons contenant des armatures, telle que définies par la norme NF EN 206-1;
- les franges 0-15 mm des échantillons 44574-2, -3 et -5 ainsi que la frange 15-30 mm de l'échantillon 44574-3 présentent une forte pollution en sulfates ;
- Au contraire, les tranches de surface des échantillons 44574-1,-4 et -6 présentent une teneur en sulfates similaire aux valeurs mesurées plus en profondeur.
Les autres valeurs, calculées par rapport à la masse de ciment, sont inférieures à la valeur maximale caractéristique de 4,0 % imposée par la norme NF EN 197-1 pour les ciments de type CEM I ;
- aucune pollution en nitrates n'est observée.

5.6 Examens au microscope électronique à balayage

Les examens au microscope électronique à balayage associé à la microanalyse élémentaire par spectrométrie X à dispersion d'énergie ont été réalisés sur des fractures fraîches et sur des sections polies taillées perpendiculairement à la surface des échantillons 44574-1 à 44574-6. Ils ont permis de mettre en évidence les points essentiels suivant (Fig. 7 à Fig. 60) :

En frange superficielle, sur une épaisseur irrégulière de l'ordre de 1 mm à 15 mm environ selon les échantillons (tableau ci-dessous), les bétons se caractérisent par des faciès lixiviés excepté l'échantillon 44574-1. Cette lixiviation paraît relativement importante dans les échantillons 44574-2 et 44574-5 pour lesquelles un déchaussement des granulats qui paraissent en relief est observé.

En cette frange superficielle, la matrice microporeuse est constituée de silicates de calcium hydratés C-S-H généralement microporeux et alvéolaires. Ces C-S-H sont associés à quelques microcristaux de calcite due probablement à la carbonatation. La matrice renferme par ailleurs des résidus anhydres de clinker de ciment Portland qui sont particulièrement pauvres en calcium.

Par ailleurs, le produit blanchâtre présent en surface de l'échantillon 44574-2 (zone de marnage) correspond à des cristaux de sulfates de calcium.

Il convient de souligner qu'aucun élément délétère tel que le chlore n'a été mis en évidence en cette frange superficielle.

Hormis la lixiviation, aucune cristallisation pathogène n'a pu être mise en évidence en cette frange superficielle.

Réf. LERM	44574-1	44574-2	44574-3	44574-4	44574-5	44574-6
Localisation	Bâtiment 22			Bâtiment 21		
	Zone émergée	Zone de marnage	Zone immergée	Zone émergée	Zone de marnage	Zone immergée
Epaisseur estimée de la frange lixiviée (mm)	0,1 à 0,2	10 - 15	2 - 5	1 - 3	5 - 10	2 - 5

Tableau 12 : épaisseur estimée de la frange superficielle altérée des bétons 44574-1 à 6

Au-delà de cette frange superficielle et jusqu'à cœur, les bétons présentent une microstructure relativement compacte. Le contact entre la pâte de ciment et les granulats est généralement étroit.

La matrice cimentaire est constituée de C-S-H majoritairement compacts et en plus faible proportion microporeux et granuleux associés à quelques cristaux de portlandite, et plus rarement à des cristaux de sulfo-aluminates de calcium hydratés.

La matrice renferme également une faible proportion d'ettringite aciculaire, dans les microporosités et bulles d'air, et sous forme massive mais sans caractère non expansif, cristallisée en petits amas au sein de la matrice.

Aucune cristallisation pathogène n'est mise en évidence à cœur de ces bétons.

L'examen de zones tachées présentes sur la paroi latérale de l'échantillon 44574-3, met en évidence une forte microporosité du granulat taché. Quelques petits amas de composition organique y sont observés. Aucune cristallisation secondaire ou produit amorphe tels que du gel d'alcali-réaction n'ont été mis en évidence au droit des zones tachées.

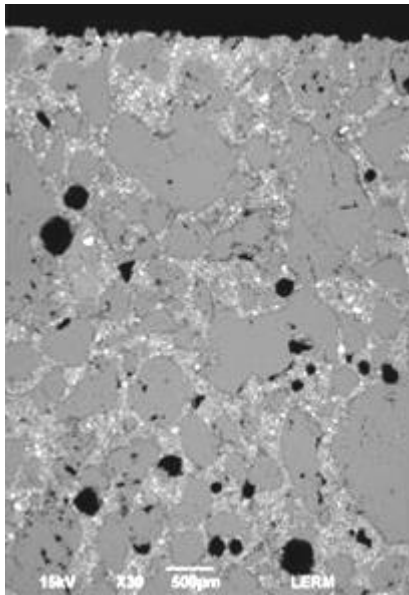


Fig. 7 : Microscopie électronique à balayage.
Echantillon 44574-1
Aspect du béton en frange superficielle

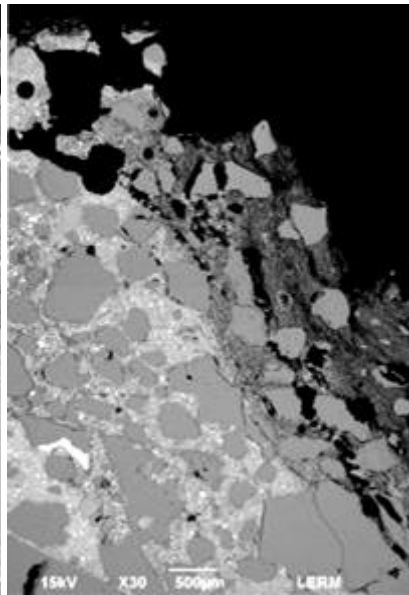


Fig. 8 : Microscopie électronique à balayage.
Echantillon 44574-2
Aspect du béton en frange superficielle

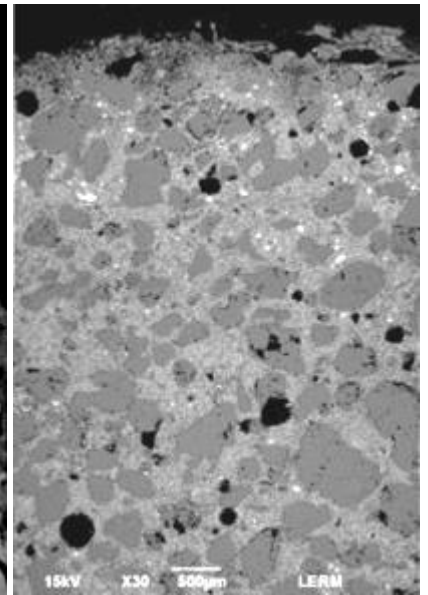


Fig. 9 : Microscopie électronique à balayage.
Echantillon 44574-3
Aspect du béton en frange superficielle

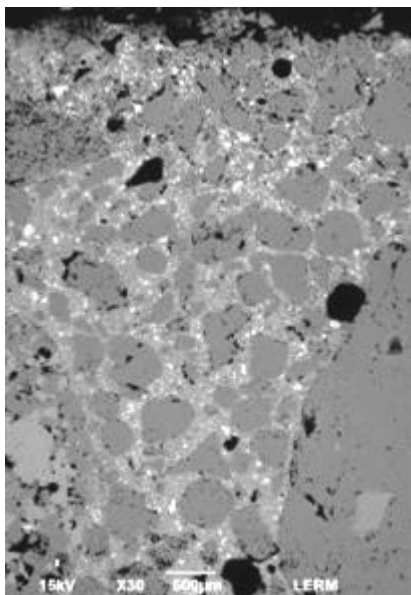


Fig. 10 : Microscopie électronique à balayage.
Echantillon 44574-4
Aspect du béton en frange superficielle

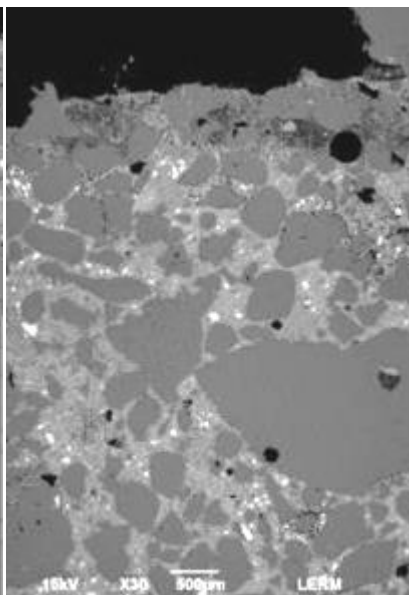


Fig. 11 : Microscopie électronique à balayage.
Echantillon 44574-5
Aspect du béton en frange superficielle

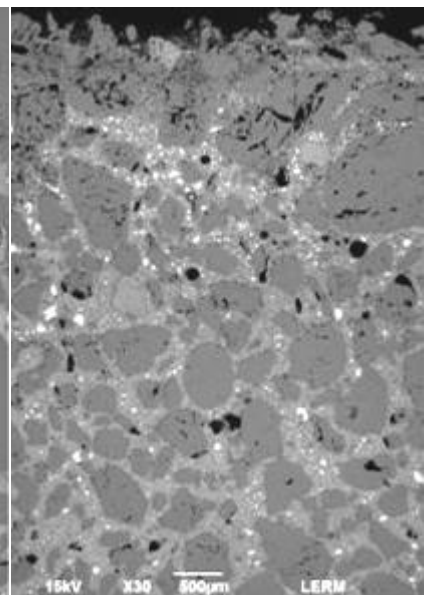


Fig. 12 : Microscopie électronique à balayage.
Echantillon 44574-6
Aspect du béton en frange superficielle

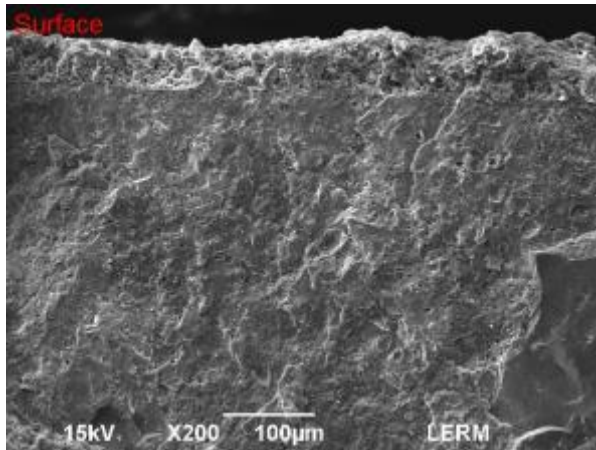


Fig. 13 : Microscopie électronique à balayage. Echantillon 44574-1
Aspect du béton en frange superficielle

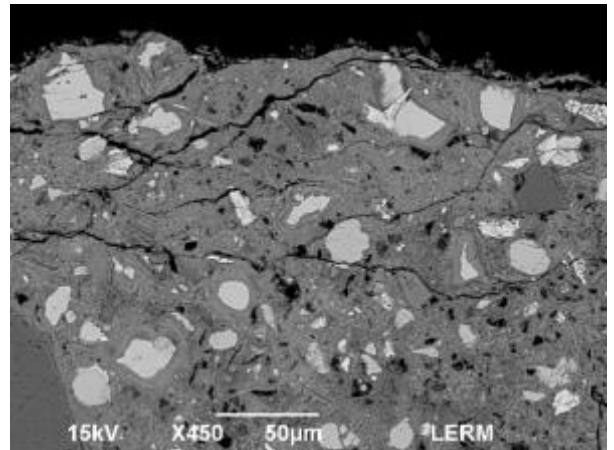


Fig. 14 : Microscopie électronique à balayage. Echantillon 44574-1
Détail de la matrice en frange superficielle
section polie – électrons rétrodiffusés

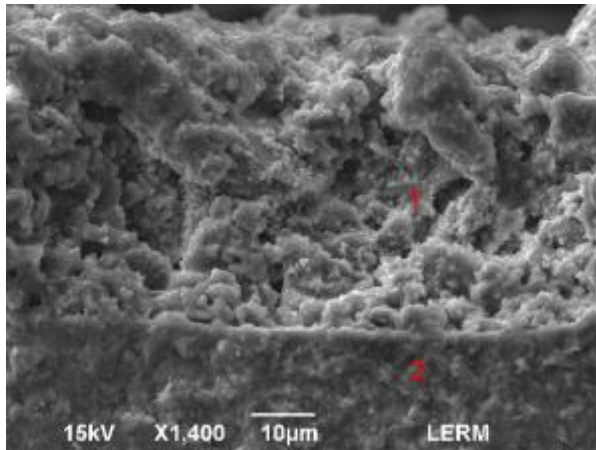


Fig. 15 : Microscopie électronique à balayage. Echantillon 44574-1
Détail de la matrice en frange superficielle
1 : C-S-H microporeux, 2 : C-S-H compacts

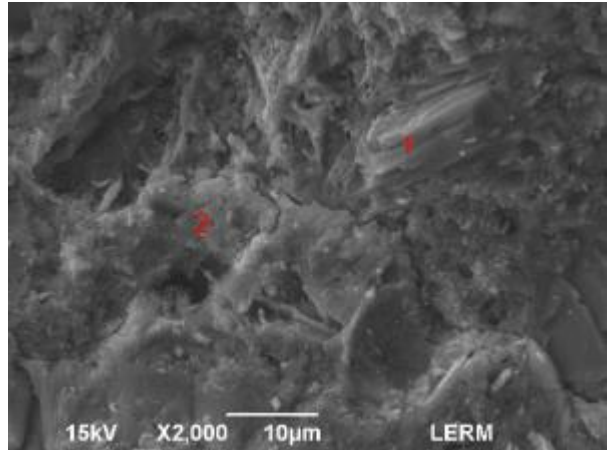


Fig. 16 : Microscopie électronique à balayage. Echantillon 44574-1
Détail de la matrice à environ 2 mm de profondeur
1 : portlandite, 2 : C-S-H

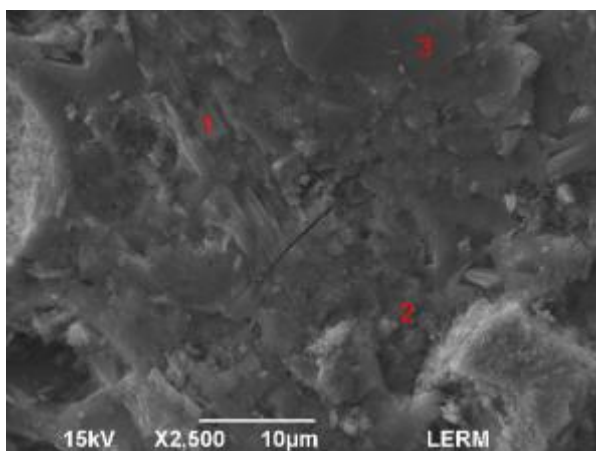


Fig. 17 : Microscopie électronique à balayage. Echantillon 44574-1
Détail du matériau à environ 5 mm de profondeur
1 : portlandite, 2 : C-S-H microporeux, 3 : C-S-H compacts

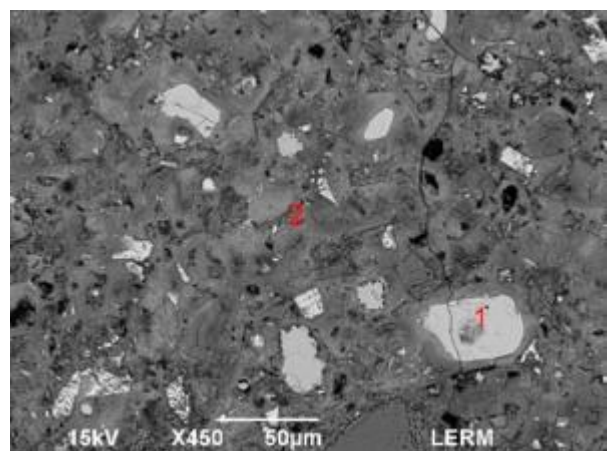


Fig. 18 : Microscopie électronique à balayage. Echantillon 44574-1
Détail de la matrice à 10 mm de profondeur
1 : grain de clinker, 2 : matrice hydratée

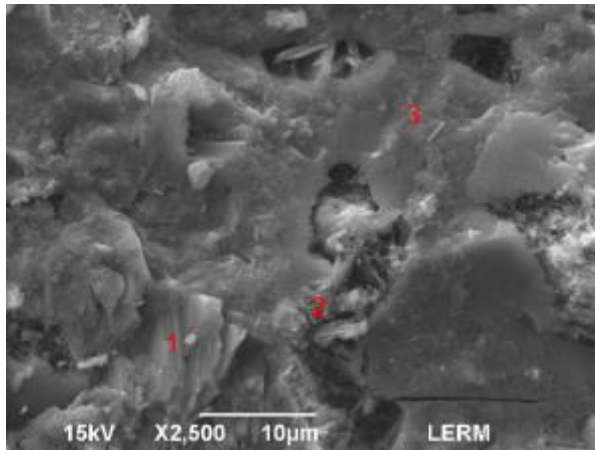


Fig. 19 : Microscopie électronique à balayage. Echantillon 44574-1
Détail du matériau à environ 15 mm de profondeur
 1 : portlandite, 2 : C-S-H microporeux, 3 : C-S-H compacts

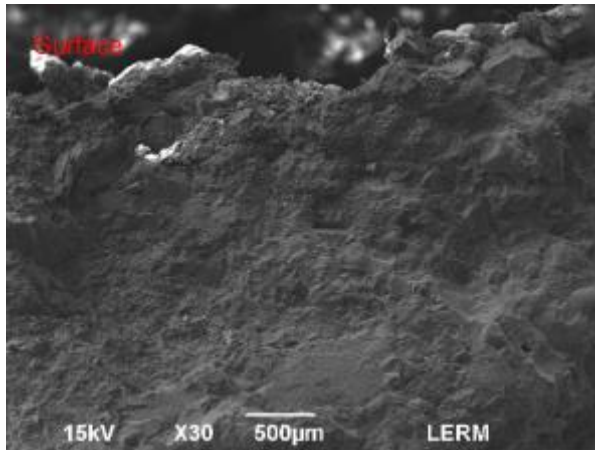


Fig. 20 : Microscopie électronique à balayage. Echantillon 44574-2
Aspect du béton en frange superficielle

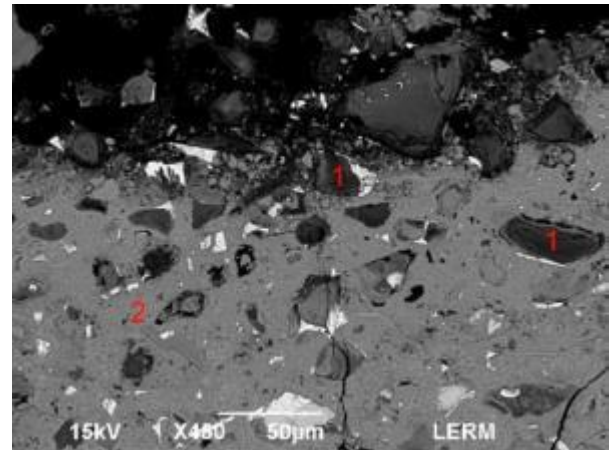


Fig. 21 : Microscopie électronique à balayage. Echantillon 44574-2
Détail de la matrice en frange superficielle
 1 : clinker pauvre en calcium, 2 : matrice hydratée

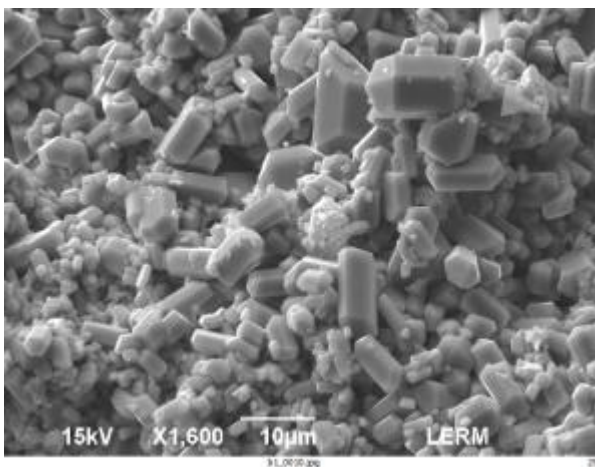


Fig. 22 : Microscopie électronique à balayage. Echantillon 44574-2
Détail de la surface du béton
 Détail de la poudre blanche formée de sulfate de calcium

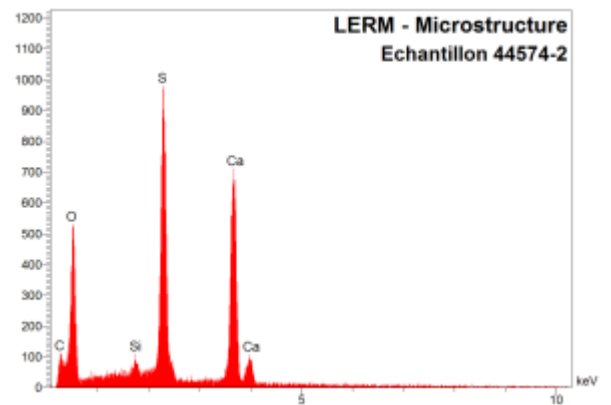


Fig. 23 : Analyse élémentaire par spectrométrie X à dispersion d'énergie globale de la figure précédente

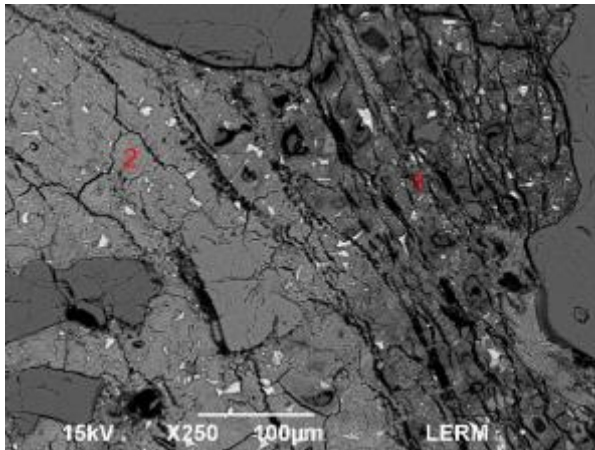


Fig. 24 : Microscopie électronique à balayage. Echantillon 44574-2
Détail du béton à environ 5 mm de profondeur
 1 : zone très lixiviée, 2 : zone d'aspect moins lixivié

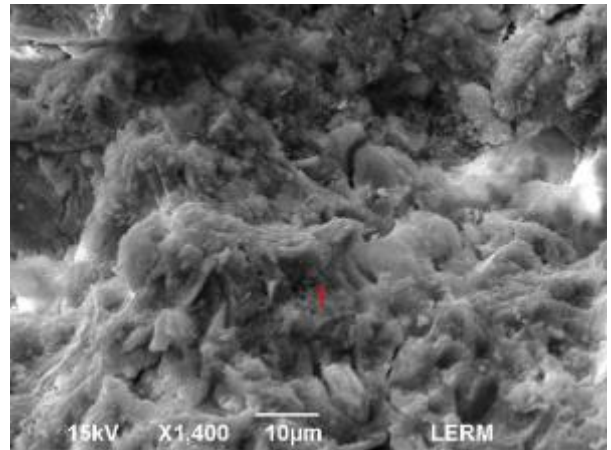


Fig. 25 : Microscopie électronique à balayage. Echantillon 44574-2
Détail de la matrice à environ 6 mm de profondeur
 1 : C-S-H microporeux

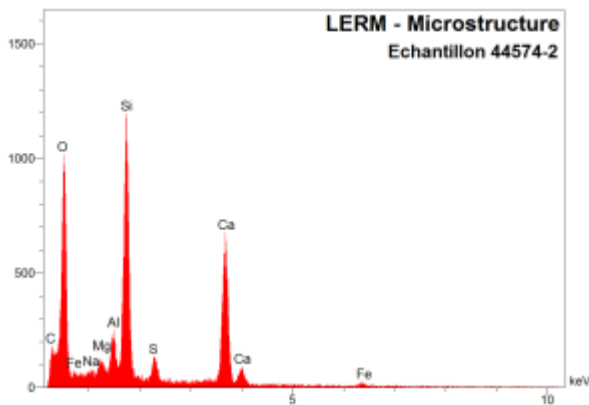


Fig. 26 : Analyse élémentaire par spectrométrie X à dispersion d'énergie au point 1 de la figure précédente

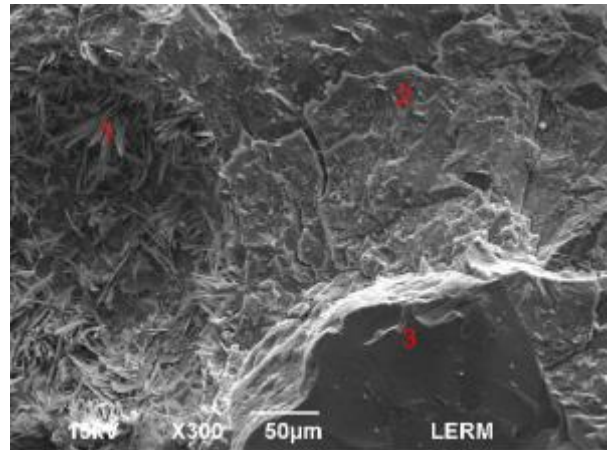


Fig. 27 : Microscopie électronique à balayage. Echantillon 44574-2
Détail du béton à environ 15 mm de profondeur
 1 : ettringite dans une bulle d'air, 2 : pâte de ciment, 3 : granulat

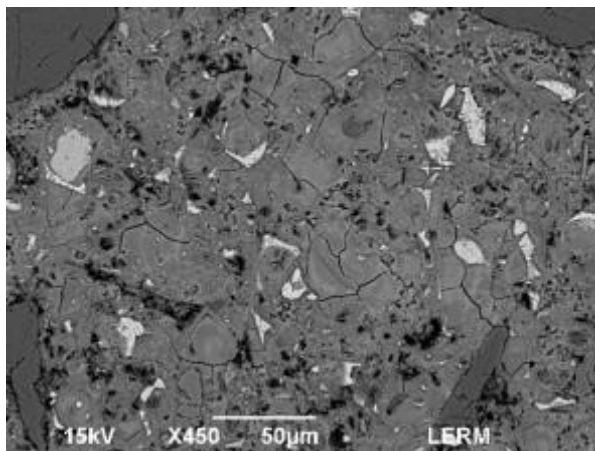


Fig. 28 : Microscopie électronique à balayage. Echantillon 44574-2
Détail de la matrice à environ 20 mm de profondeur
 section polie – électrons rétrodiffusés

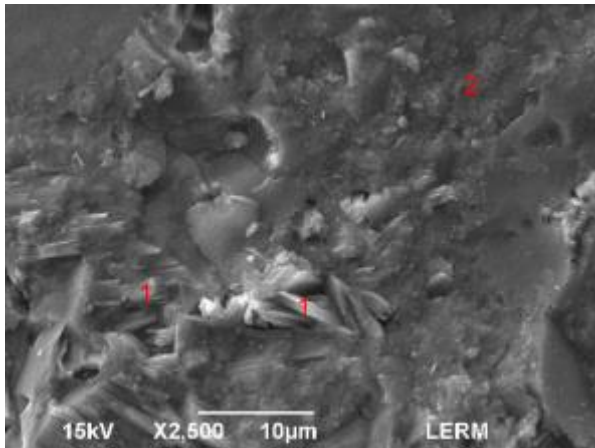


Fig. 29 : Microscopie électronique à balayage. Echantillon 44574-2
Détail de la matrice à environ 20 mm de profondeur
 1 : portlandite, 2 : C-S-H compacts

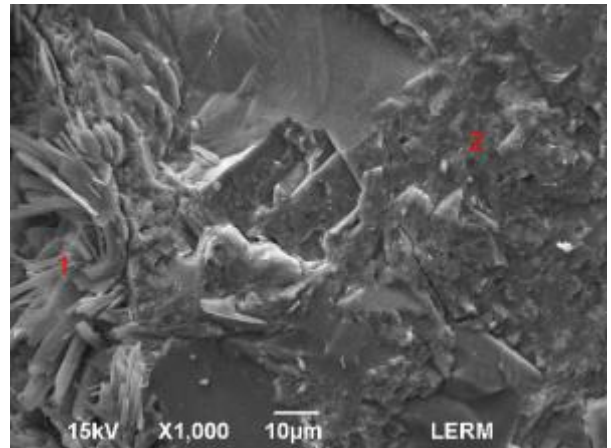


Fig. 30 : Microscopie électronique à balayage. Echantillon 44574-2
Détail de la matrice à environ 30 mm de profondeur
 1 : portlandite, 2 : C-S-H compacts

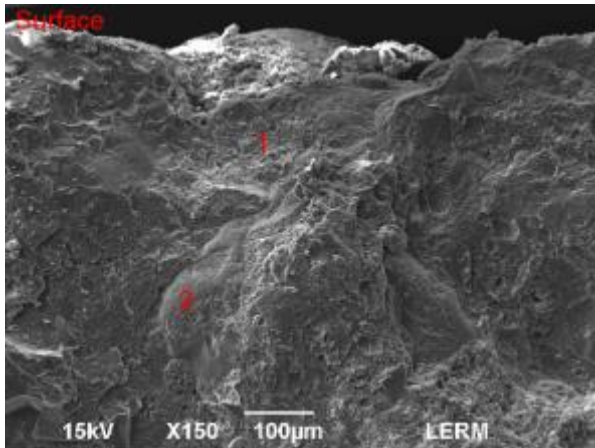


Fig. 31 : Microscopie électronique à balayage. Echantillon 44574-3
Aspect du béton en frange superficielle
 1 : pâte de ciment, 2 : granulat

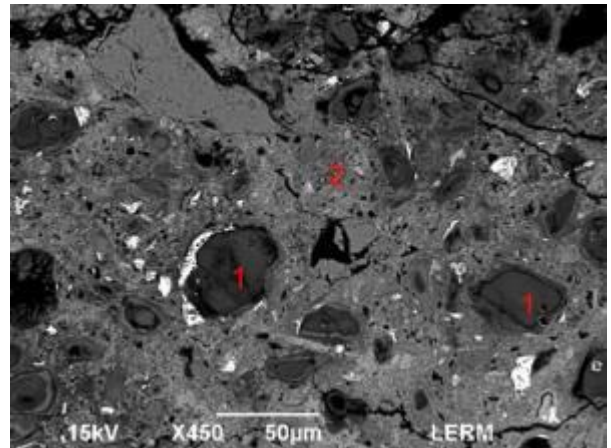


Fig. 32 : Microscopie électronique à balayage. Echantillon 44574-3
Détail de la matrice en frange superficielle
 1 : clinker pauvre en calcium, 2 : matrice hydratée

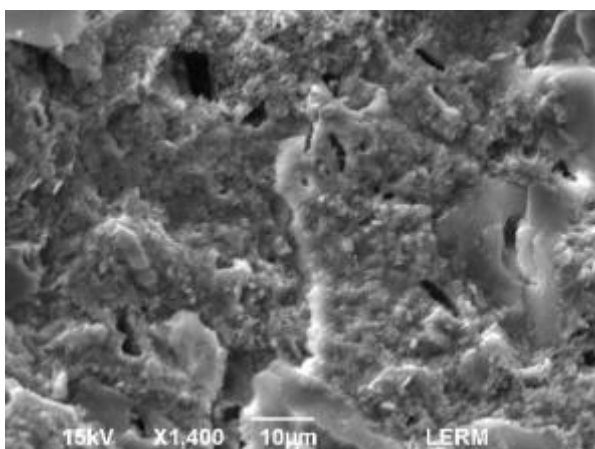


Fig. 33 : Microscopie électronique à balayage. Echantillon 44574-3
Détail de la matrice à environ 1 mm de profondeur
 Aspect des C-S-H

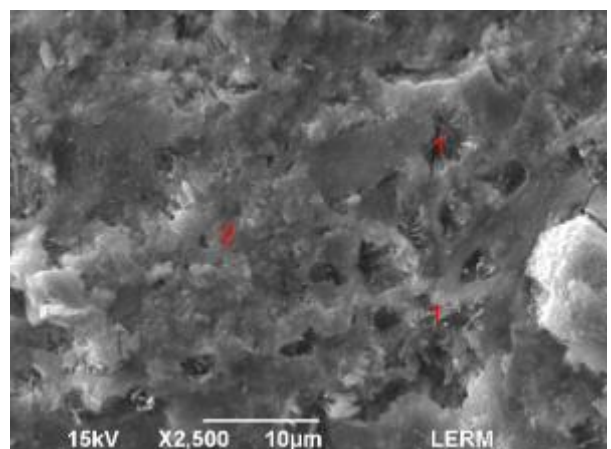


Fig. 34 : Microscopie électronique à balayage. Echantillon 44574-3
Détail de la matrice à environ 4 mm de profondeur
 1 : ettringite aciculaire, 2 : C-S-H

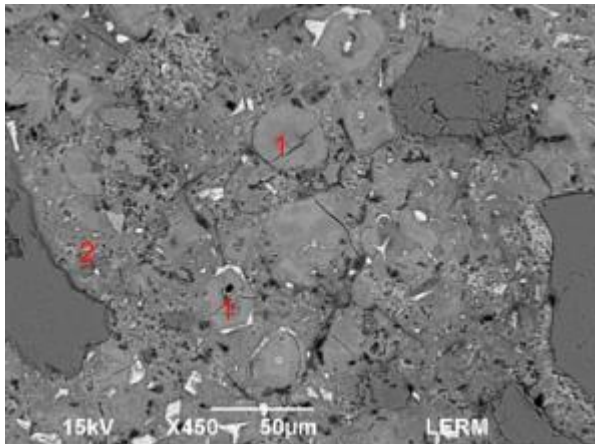


Fig. 35 : Microscopie électronique à balayage. Echantillon 44574-3
Détail de la matrice à environ 10 mm de profondeur
 1 : grain de clinker, 2 : matrice hydratée

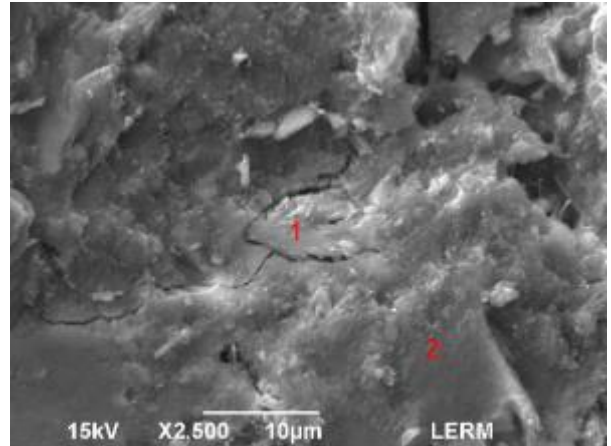


Fig. 36 : Microscopie électronique à balayage. Echantillon 44574-3
Détail du matériau à environ 10 mm de profondeur
 1 : ettringite massive, 2 : C-S-H compacts

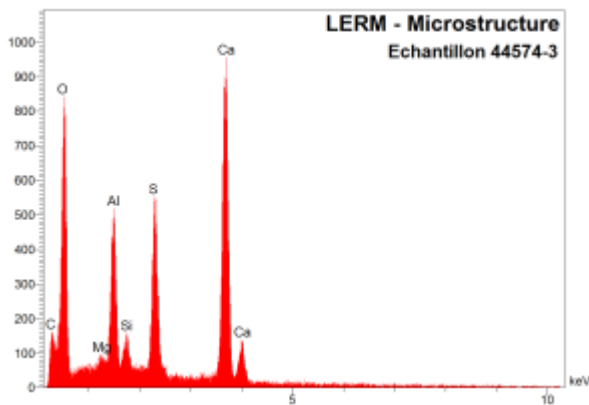


Fig. 37 : Analyse élémentaire par spectrométrie X à dispersion d'énergie au point 1 de la figure précédente

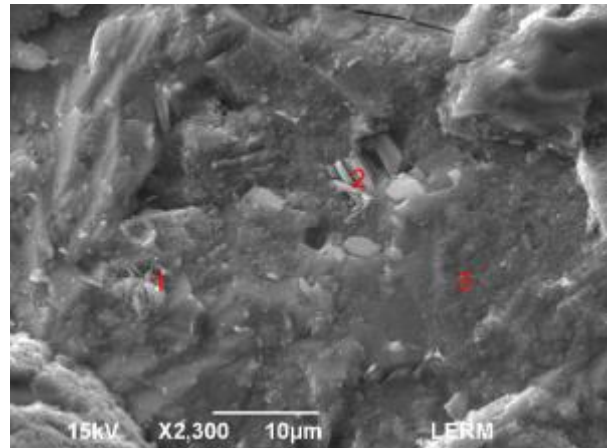


Fig. 38 : Microscopie électronique à balayage. Echantillon 44574-3
Détail de la matrice à environ 15 mm de profondeur
 1 : portlandite, 2 : C-S-H compacts

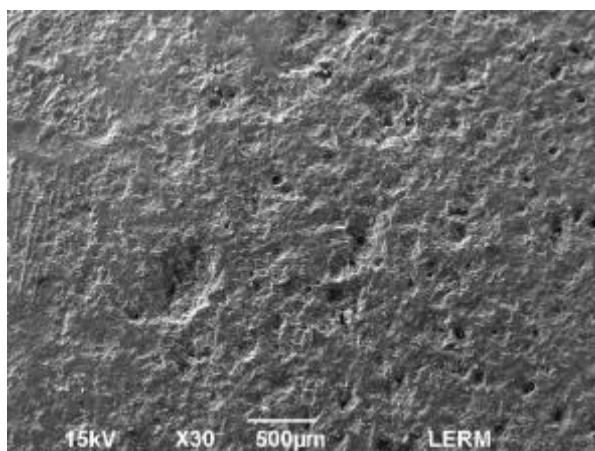


Fig. 39 : Microscopie électronique à balayage. Echantillon 44574-3
Aspect du matériau en zone tachée sur la paroi latérale
 Aspect poreux

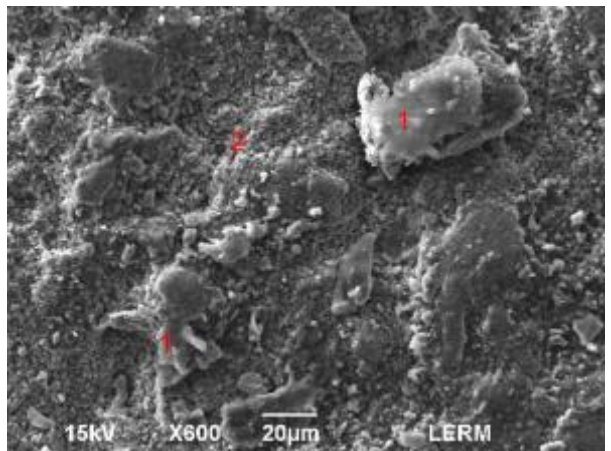


Fig. 40 : Microscopie électronique à balayage. Echantillon 44574-3
Détail du matériau en zone tachée sur la paroi latérale
 1 : amas organiques, 2 : surface latérale

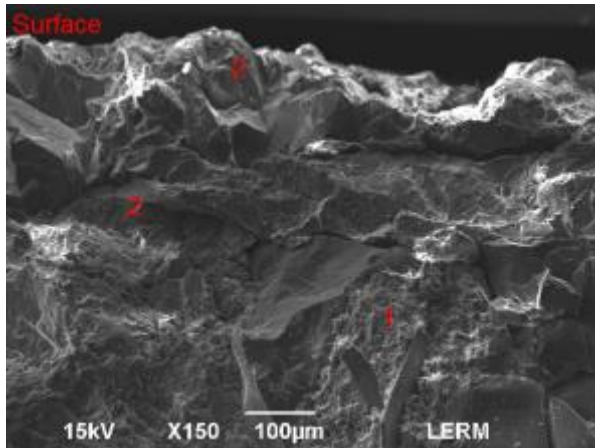


Fig. 41 : Microscopie électronique à balayage. Echantillon 44574-4
Aspect du béton en frange superficielle
 1 : pâte de ciment, 2 : granulat

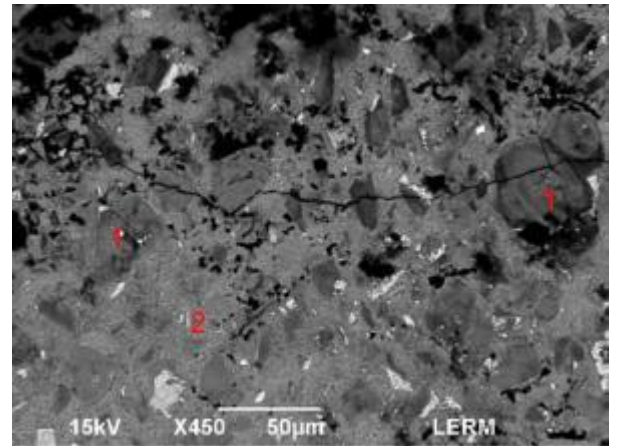


Fig. 42 : Microscopie électronique à balayage. Echantillon 44574-4
Détail de la matrice en frange superficielle
 1 : clinker pauvre en calcium, 2 : matrice hydratée

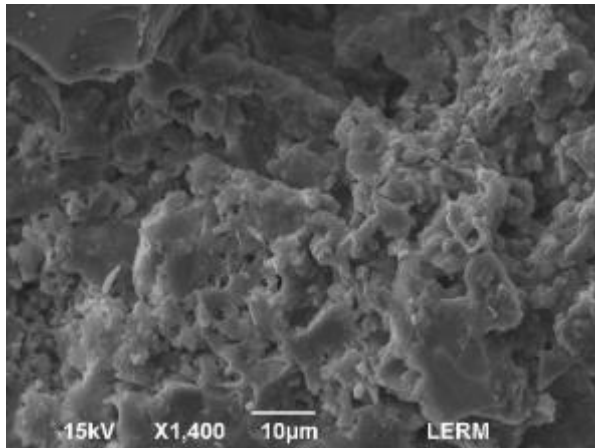


Fig. 43 : Microscopie électronique à balayage. Echantillon 44574-4
Détail de la matrice à environ 1 mm de profondeur
 Aspect des C-S-H

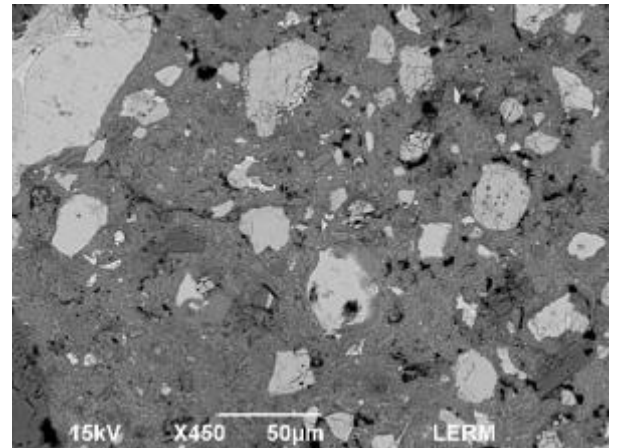


Fig. 44 : Microscopie électronique à balayage. Echantillon 44574-4
Détail de la matrice à environ 2 mm de profondeur
 section polie – électrons rétrodiffusés

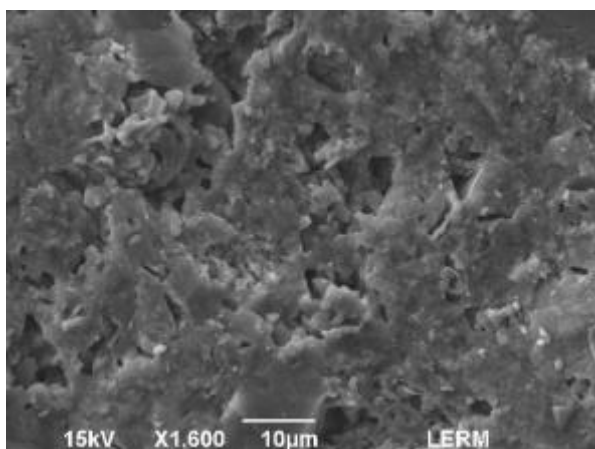


Fig. 45 : Microscopie électronique à balayage. Echantillon 44574-4
Détail du matériau à environ 4 mm de profondeur
 Aspect des C-S-H microporeux

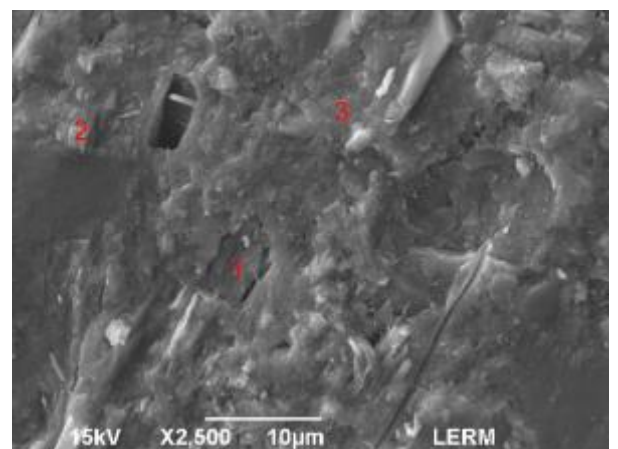


Fig. 46 : Microscopie électronique à balayage. Echantillon 44574-4
Détail du matériau à environ 10 mm de profondeur
 1 : portlandite, 2 : C-S-H microporeux, 3 : C-S-H compacts

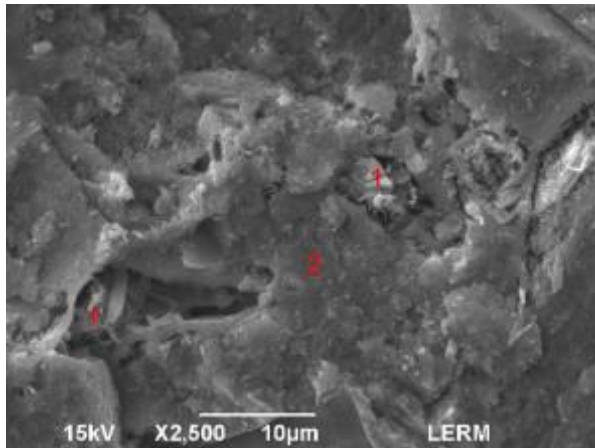


Fig. 47 : Microscopie électronique à balayage. Echantillon **44574-4**
Détail du matériau à environ 25 mm de profondeur
 1 : portlandite, 2 : C-S-H microporeux, 3 : C-S-H compacts

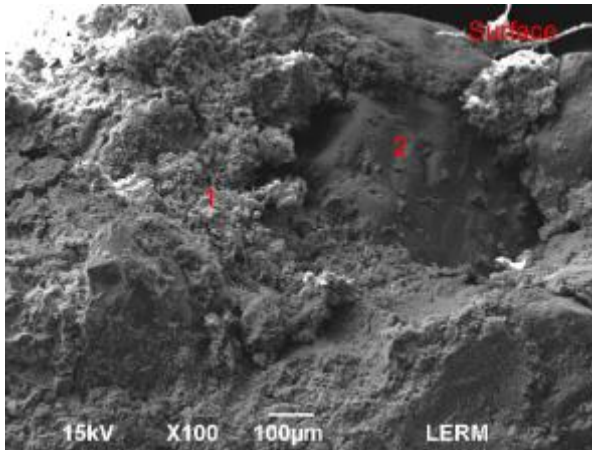


Fig. 48 : Microscopie électronique à balayage. Echantillon **44574-5**
Aspect du béton en frange superficielle
 1 : pâte de ciment, 2 : granulat

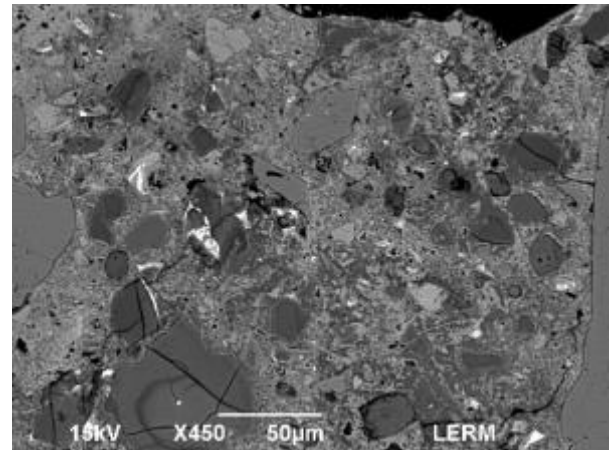


Fig. 49 : Microscopie électronique à balayage. Echantillon **44574-5**
Détail de la matrice en frange superficielle
 section polie – électrons rétrodiffusés

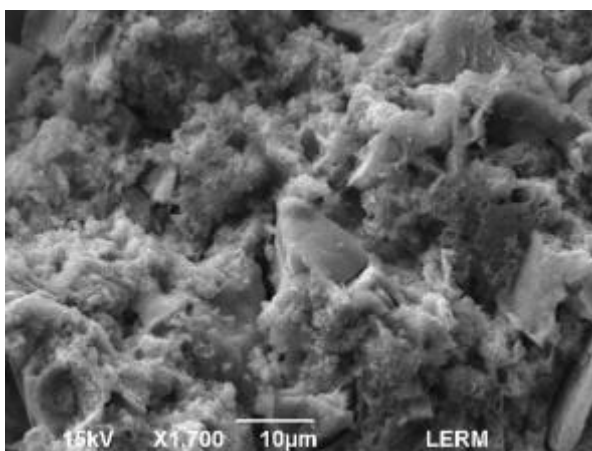


Fig. 50 : Microscopie électronique à balayage. Echantillon **44574-5**
Détail de la matrice à environ 10 mm de profondeur
 Aspect des C-S-H microporeux et alvéolaires

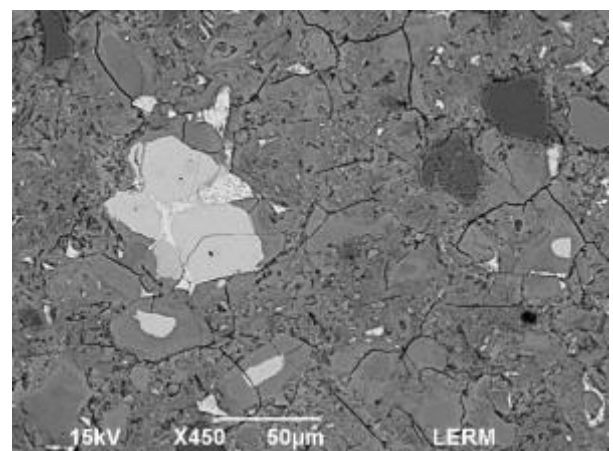


Fig. 51 : Microscopie électronique à balayage. Echantillon **44574-5**
Détail de la matrice à environ 15 mm de profondeur
 section polie – électrons rétrodiffusés

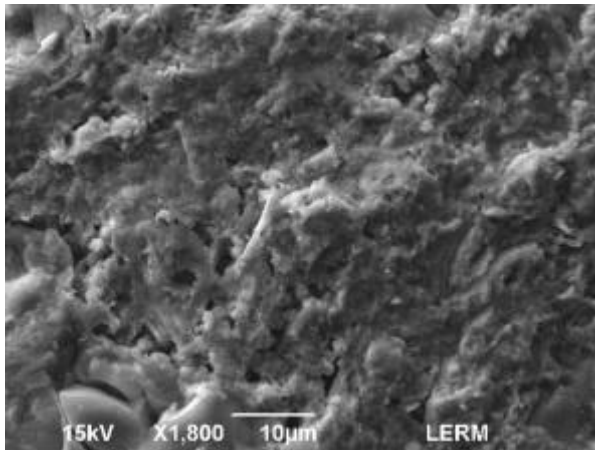


Fig. 52 : Microscopie électronique à balayage. Echantillon 44574-5
Détail de la matrice à environ 15 mm de profondeur
 Aspect des C-S-H

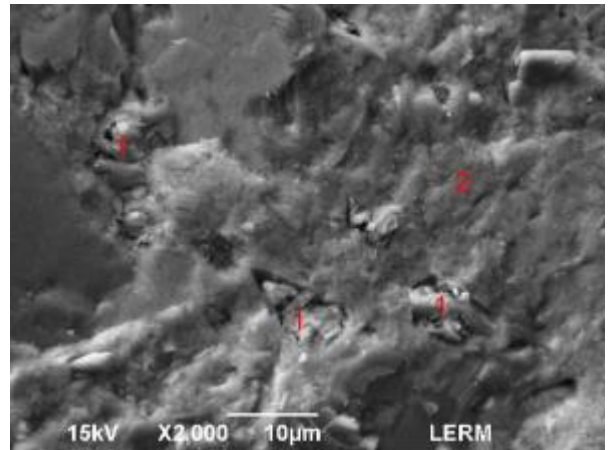


Fig. 53 : Microscopie électronique à balayage. Echantillon 44574-5
Détail de la matrice à environ 25 mm de profondeur
 1 : ettringite, 2 : C-S-H compacts

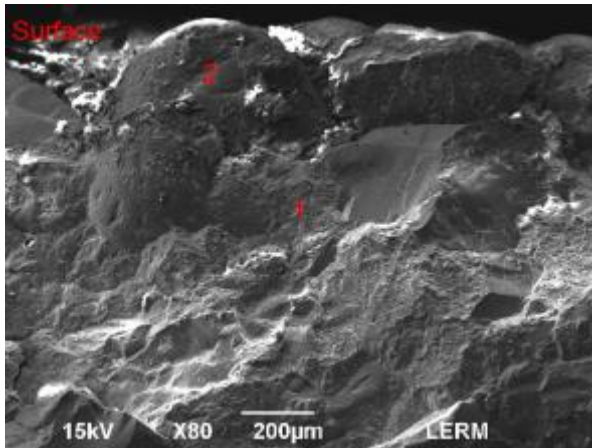


Fig. 54 : Microscopie électronique à balayage. Echantillon 44574-6
Aspect du béton en frange superficielle
 1 : pâte de ciment, 2 : granulat

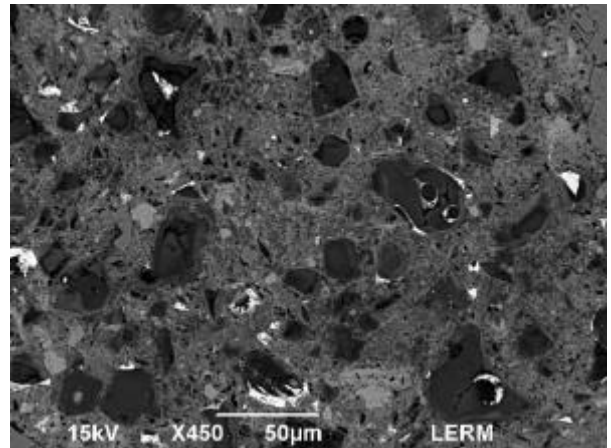


Fig. 55 : Microscopie électronique à balayage. Echantillon 44574-6
Détail de la matrice en frange superficielle
 section polie – électrons rétrodiffusés

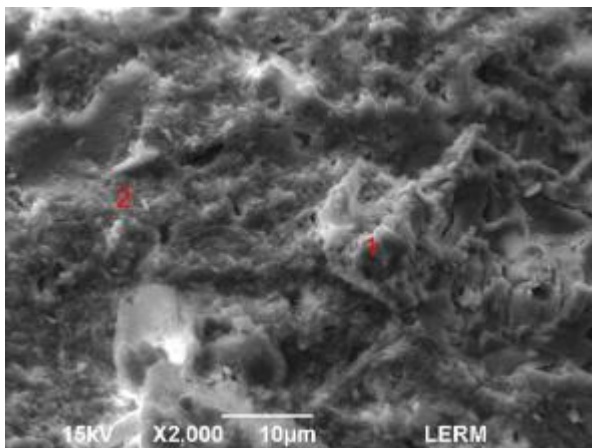


Fig. 56 : Microscopie électronique à balayage. Echantillon 44574-6
Détail de la matrice à environ 2 mm de profondeur
 1 : portlandite, 2 : C-S-H microporeux

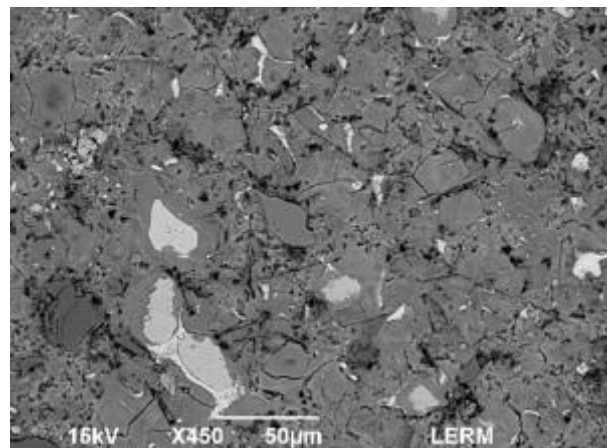


Fig. 57 : Microscopie électronique à balayage. Echantillon 44574-6
Détail de la matrice à environ 5 mm de profondeur
 section polie – électrons rétrodiffusés

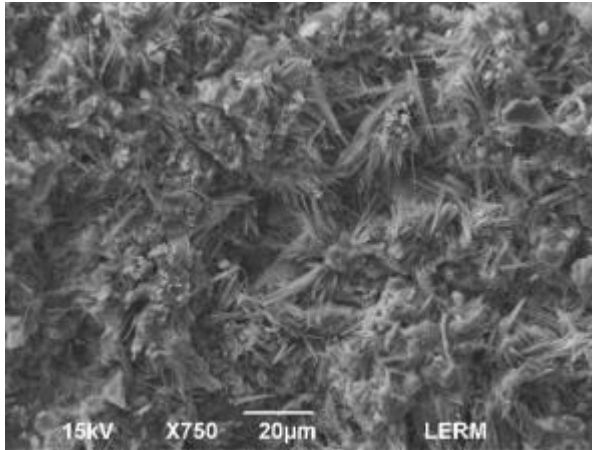


Fig. 58 : Microscopie électronique à balayage. Echantillon **44574-6**
Détail du matériau à environ 8 mm de profondeur
 cristaux d'ettringite aciculaire dans une empreinte de granulat

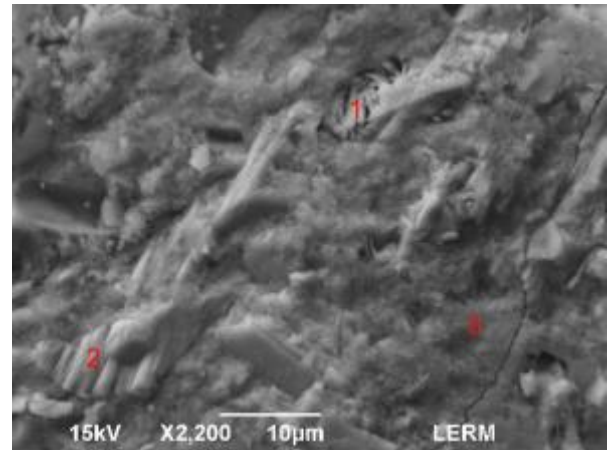


Fig. 59 : Microscopie électronique à balayage. Echantillon **44574-6**
Détail du matériau à environ 10 mm de profondeur
 1 : ettringite, 2 : portlandite, 3 : C-S-H compacts

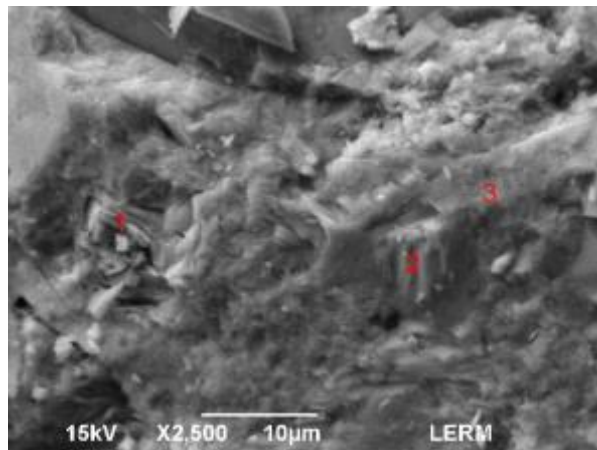


Fig. 60 : Microscopie électronique à balayage. Echantillon **44574-6**
Détail de la matrice à environ 20 mm de profondeur
 1 : sulfo-aluminates de Ca hydraté, 2 : portlandite, 3 : C-S-H compacts

6 — Synthèse

L'étude réalisée par le LERM de janvier à mai 2019, dans le but de rechercher l'origine des dégradations du béton des décanteurs lamellaires des bâtiments B21 et B22 de la station d'épuration de Bègles (33), a permis de dégager les points essentiels suivants :

Concernant les investigations sur site :

- les désordres observés sur site sont :
 - o une dégradation superficielle du béton, illustrée par la présence de granulats apparents en surface du parement, concentrée sous forme d'une bande horizontale au niveau de la zone de marnage ;
 - o la présence de dépôts blanc sur le béton en partie supérieure de la zone de marnage.

Concernant les échantillons de béton :

- la surface des carottes de béton prélevées en zone de marnage présente des gravillons déchaussés (en relief) dus à une altération de la matrice cimentaire le long d'une bande centrale pluricentimétrique, d'environ 5 cm pour l'échantillon 44574-2 (bâtiment 22) et environ 3 à 4 cm pour l'échantillon 44574-5 (bâtiment 21) ;
- localement, on note une répartition hétérogène des granulats dans un des échantillons de béton prélevés (au niveau de la zone immergée du bâtiment B22, correspondant à l'échantillon 44574-3) ;
- les porosités obtenues, variant de 10 % à 14 % traduisent une compacité élevée à moyenne des bétons ;
- les échantillons de béton sont constitués d'un ciment Portland de type CEM I ;
- les paramètres de formulation sont synthétisés dans le tableau ci-dessous :

Réf. LERM	44574-1	44574-2	44574-3	44574-4	44574-5	44574-6
Localisation	Bâtiment 22			Bâtiment 21		
Zone	Immergée	Marnage	Emergée	Immergée	Marnage	Emergée
Dosage en ciment (kg/m ³ de béton)	465 (± 45)	460 (± 45)	465 (± 50)	445 (± 45)	485 (± 50)	445 (± 45)
Eau efficace de gâchage (kg/m ³)	160	165	185	145	140	130
Rapport pondéral Eau eff / Ciment	0,34 ± 0,04	0,36 ± 0,04	0,40 ± 0,04	0,33 ± 0,03	0,29 ± 0,03	0,29 ± 0,04

Les dosages en ciment des échantillons sont compris entre 445 et 485 kg/m³. Ces dosages sont supérieurs à la valeur minimale requise par la norme NF EN 206-1 d'avril 2004 pour la classe d'exposition XA3 (360 kg/m³). Ils apparaissent toutefois élevés.

Le rapport « Eau efficace de gâchage / Ciment » (E_{eff}/C) de ces bétons est estimé entre environ 0,29 et 0,40. Les valeurs obtenues sont largement inférieures à la valeur seuil de la norme NF EN 206-1 requise pour la classe d'exposition XA3 (0,45) ;

- Le béton situé entre 0 et 15 mm des échantillons 44574-2,-3 (zones de marnage et immergée du bâtiment B22) et 5 (zone de marnage du bâtiment B21) ainsi que la frange 15-30 mm de l'échantillon 44574-3 présentent une forte à très forte pollution en sulfates et une légère pollution en ammonium. Plus à cœur, la teneur en sulfates est constante et à un niveau attendu, tandis que la teneur en ammonium est négligeable.
- Par ailleurs, aucune pollution en chlorures et en nitrates n'est observée dans ces échantillons de béton ;
- enfin, les désordres sont concentrés au niveau de la zone de marnage des deux bâtiments. La matrice cimentaire du béton est lixiviée sur une épaisseur maximale de 15 mm pour le béton du bâtiment B22 (échantillon 44574-2) et 10 mm pour celui du bâtiment B21 (échantillon 44574-5). Un déchaussement des granulats y est observé. Les produits blancs présents en surface de ces échantillons correspondent à du sulfate de calcium.

En zone immergée (échantillons 44574-3 et 6), les épaisseurs de béton dégradé atteignent 5 mm. Elles sont plus faibles en zone émergée : jusqu'à 200 µm pour le bâtiment B22 (échantillon 44574-1) et 3 mm pour le bâtiment B21 (échantillon 44574-4).

7 — Conclusion

Au final, sur la base des examens et analyses réalisés, il apparaît que le matériau blanchâtre en zone de marnage correspond à la matrice d'un béton altéré principalement constituée de cristaux de sulfate de calcium. La dégradation de la matrice liante est très vraisemblablement due à une attaque par l'acide sulfurique H_2SO_4 formé à partir du sulfure d'hydrogène H_2S en présence d'oxygène et d'humidité. Les sulfates résultant de cette attaque se combinent avec le calcium provenant de la matrice cimentaire pour former du sulfate de calcium.

Par ailleurs, en zone de marnage des deux bassins, le front de pénétration des sulfates reste limité aux quinze premiers millimètres du béton, tandis que le béton immergé du bassin 22 semble présenter une légère pollution en sulfates jusqu'à 30 mm de profondeur. Au-delà de ces franges, la teneur en sulfates apparaît normale.

A noter tout de même que ces concentrations élevées en sulfates ne sont pas associées à la présence de produits pathogènes expansifs, tels que l'ettringite massive et la thaumasite.

Dans l'optique d'une remise en état, il conviendrait de purger le béton au niveau de la zone de marnage des deux bassins, sur une profondeur d'environ 15 mm, afin d'éliminer la frange de surface lixiviée et polluée par les sulfates.

Afin d'éviter tout risque de remobilisation des sulfates et de l'ammonium présents dans cette frange, la purge du béton devra être effectuée à sec. Une fois cette étape réalisée, un béton ou un mortier conforme a minima à la classe d'exposition XA3 pourra être appliqué. Le choix du ciment de ce matériau s'avère primordial : il devra en effet être résistant aux acides et aux sulfates. Au regard des spécifications du fascicule de documentation FD P 18-011, un ciment au laitier de type CEM III ou un ciment composé de type CEM V, conformes à la norme NF P 15-319 (ES), sont à recommander.

L'application sur la surface du matériau de réparation d'un revêtement résistant aux acides au droit de la zone de marnage, est également à prescrire par précaution et afin de pérenniser la réparation et ce en l'absence de données sur le niveau d'agressivité chimique réelle de l'environnement à l'intérieur des bassins.

Les ingénieurs responsables de l'étude

Le directeur du Département Diagnostic et Durabilité des Matériaux



T. LENORMAND



T. COLLIN



A. AMMOUCHE

Investigations sur site réalisées par M. GARROS et L. WEGENER
Préparation des échantillons réalisée par A. KENNICHE
Examens microscopiques réalisés par T. HASSINI et F. BEGUE
Analyses chimiques réalisées par A. BERGER
Essais physiques réalisés par GAMERO

*La reproduction intégrale de ce rapport sans modification d'aucune sorte est seule autorisée.
Les essais faisant l'objet du présent rapport portent sur des échantillons prélevés dans certaines conditions. Leur représentativité est liée à celle des échantillons et ne peut être étendue à une population dont ils sont issus que si l'homogénéité de cette population peut être vérifiée.*

Annexe 1 – Prises de vues photographiques des échantillons

Bâtiment 22 :



Fig. 61 : Prise de vue photographique des échantillon 44574-1 à 3, provenant du bâtiment 22



Echantillon 44574-1, zone émergée



Echantillon 44574-2, zone de marnage



Echantillon 44574-3, zone immergée

Fig. 62 : Prises de vue photographique de la surface des échantillon **44574-1 à 3**, provenant du **bâtiment 22**



Fig. 63 : Prises de vues photographiques de l'échantillon 44574-3, prélevé en zone immergée du bâtiment 22
L'échantillon a été préalablement humidifié afin de mieux mettre en évidence les zones pauvres en granulats, entourées en rouge

Bâtiment 21 :



Fig. 64 : Prise de vue photographique des échantillon 44574-4 à 6, provenant du bâtiment 21



Echantillon 44574-4, zone émergée



Echantillon 44574-5, zone de marnage



Echantillon 44574-6, zone immergée

Fig. 65 : Prises de vue photographique de la surface des échantillon **44574-4 à 6**, provenant du **bâtiment 21**

Annexe 2 – Thermogrammes

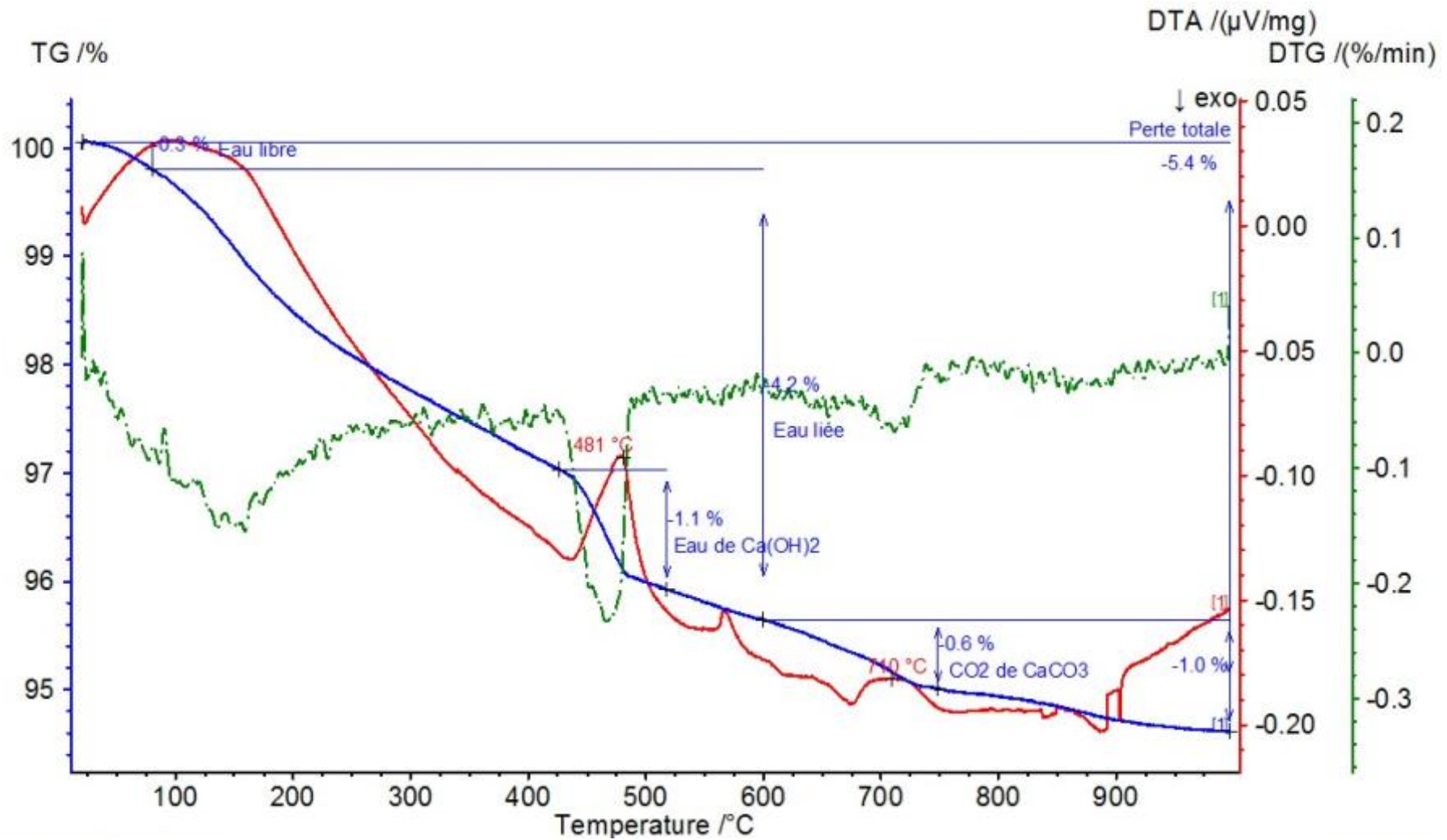


Fig. 66 : Thermogramme de l'échantillon 44574-1

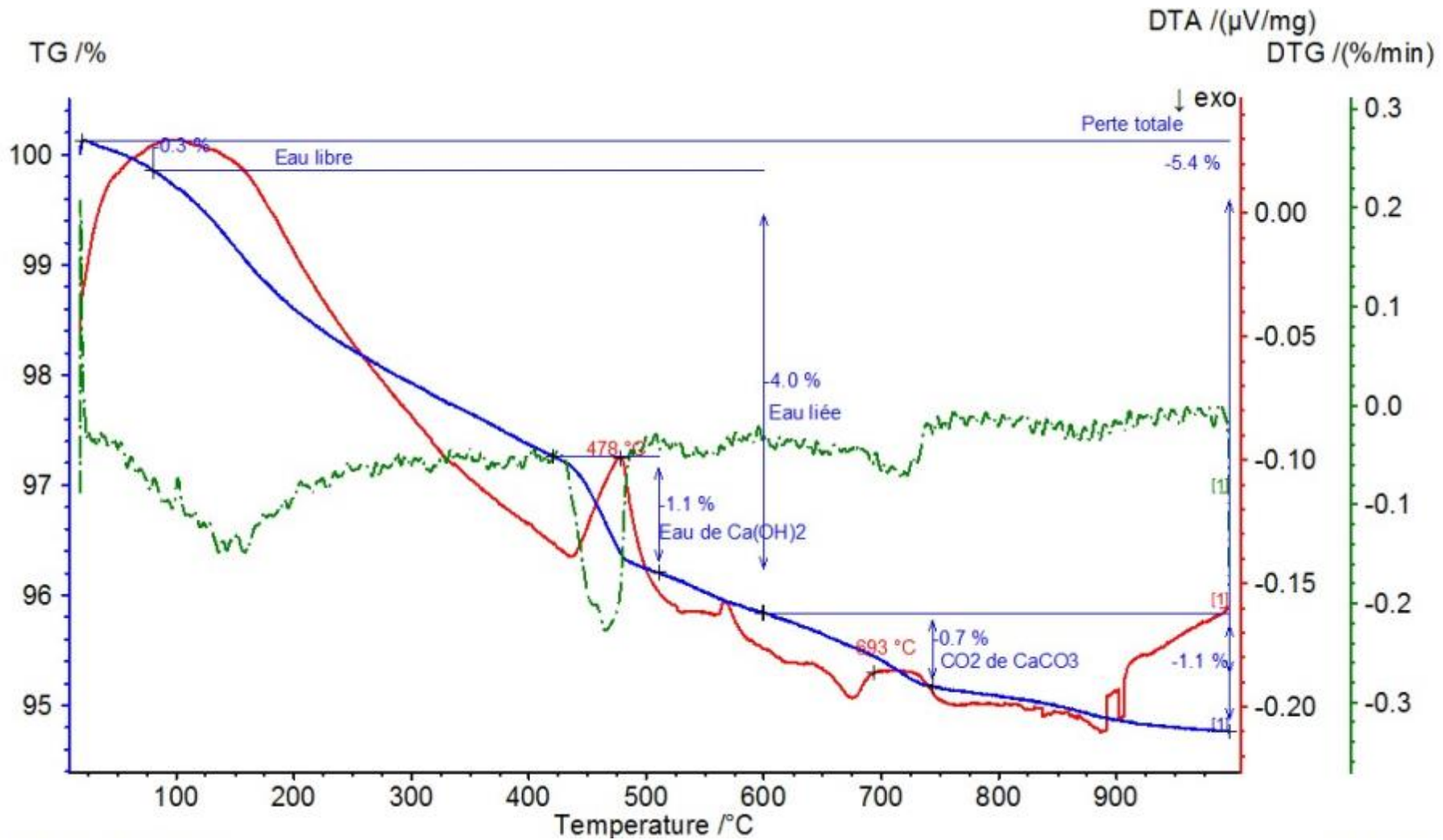


Fig. 67 : Thermogramme de l'échantillon 44574-2

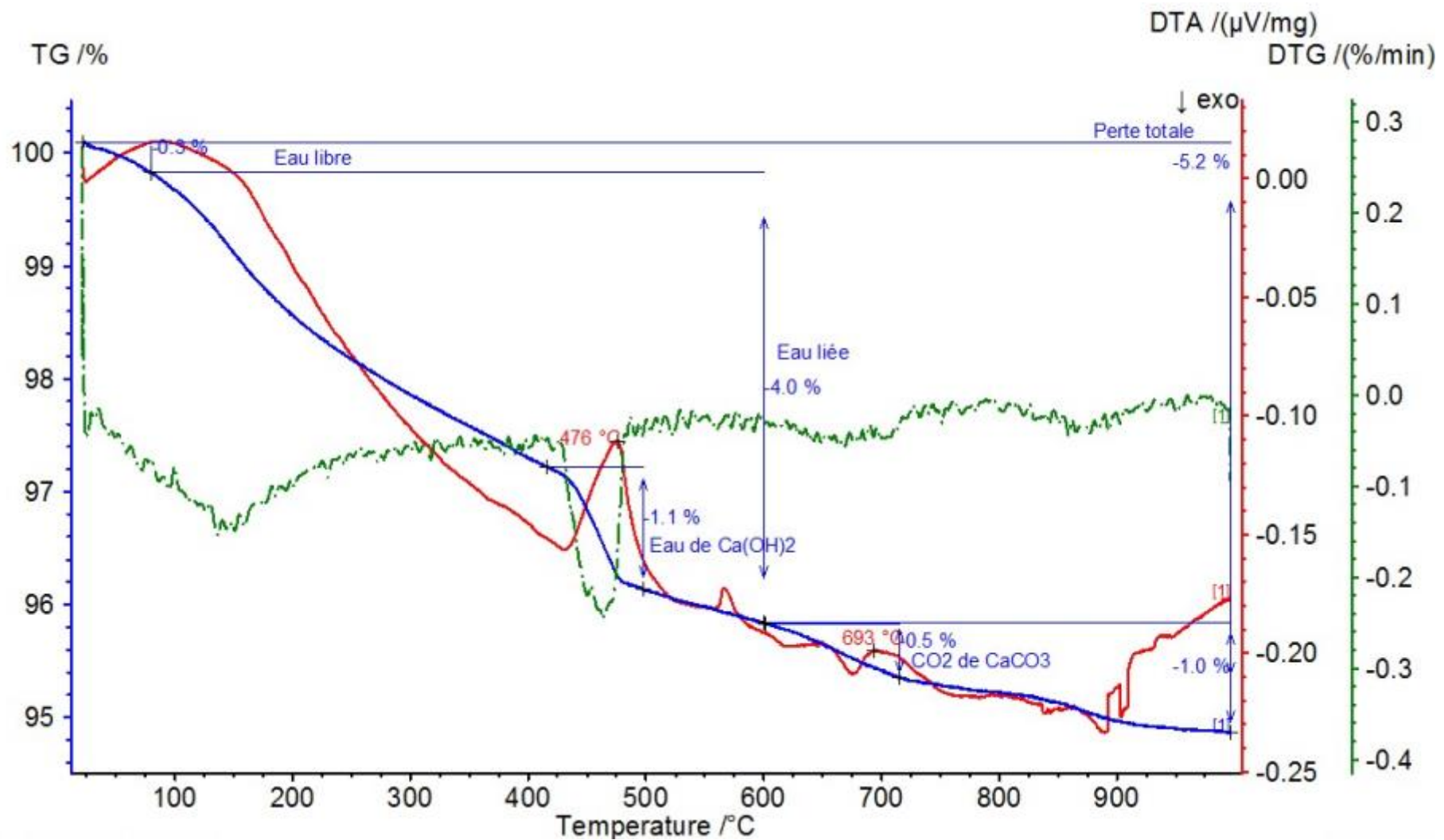


Fig. 68 : Thermogramme de l'échantillon 44574-3

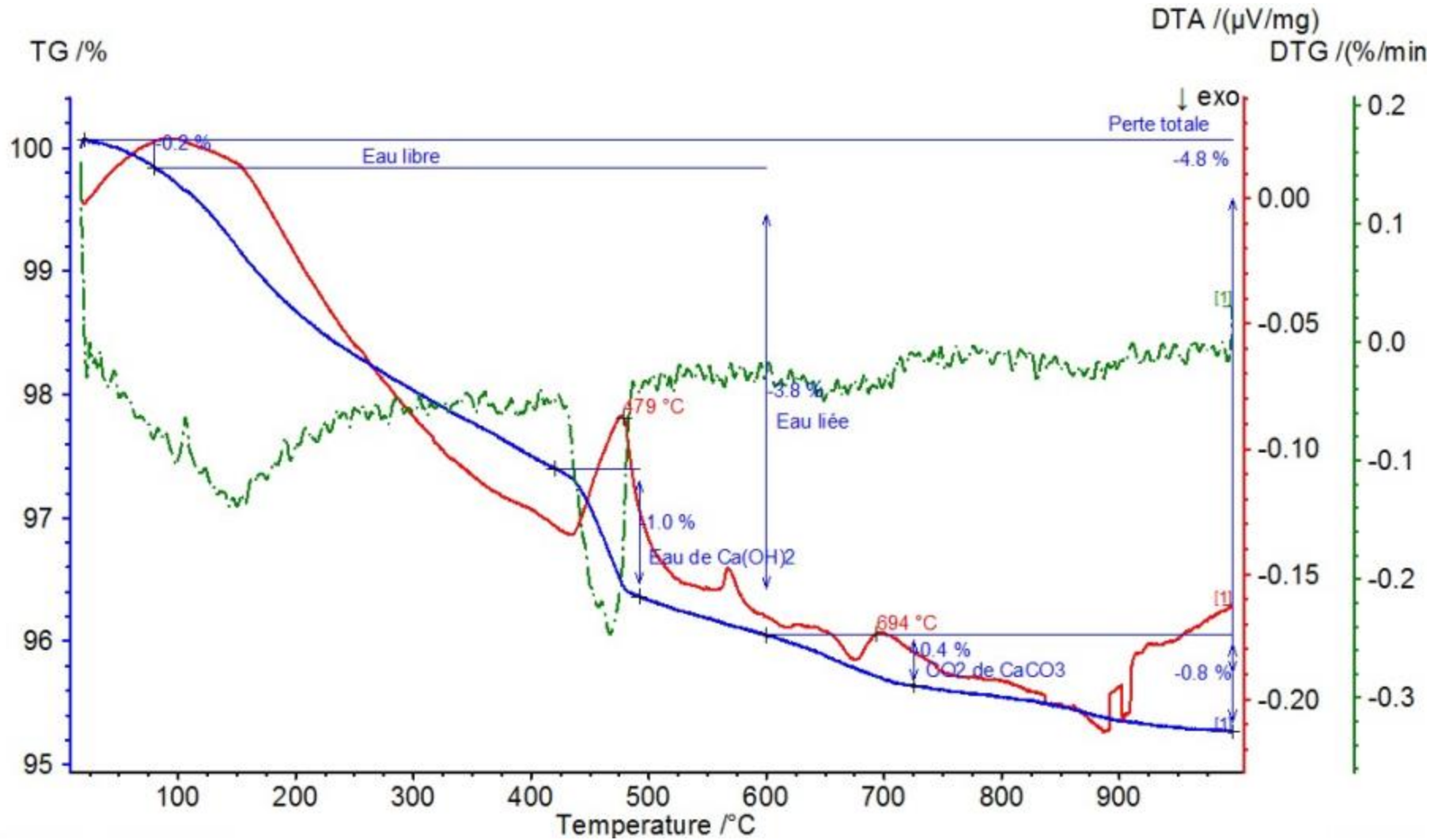


Fig. 70 : Thermogramme de l'échantillon 44574-5

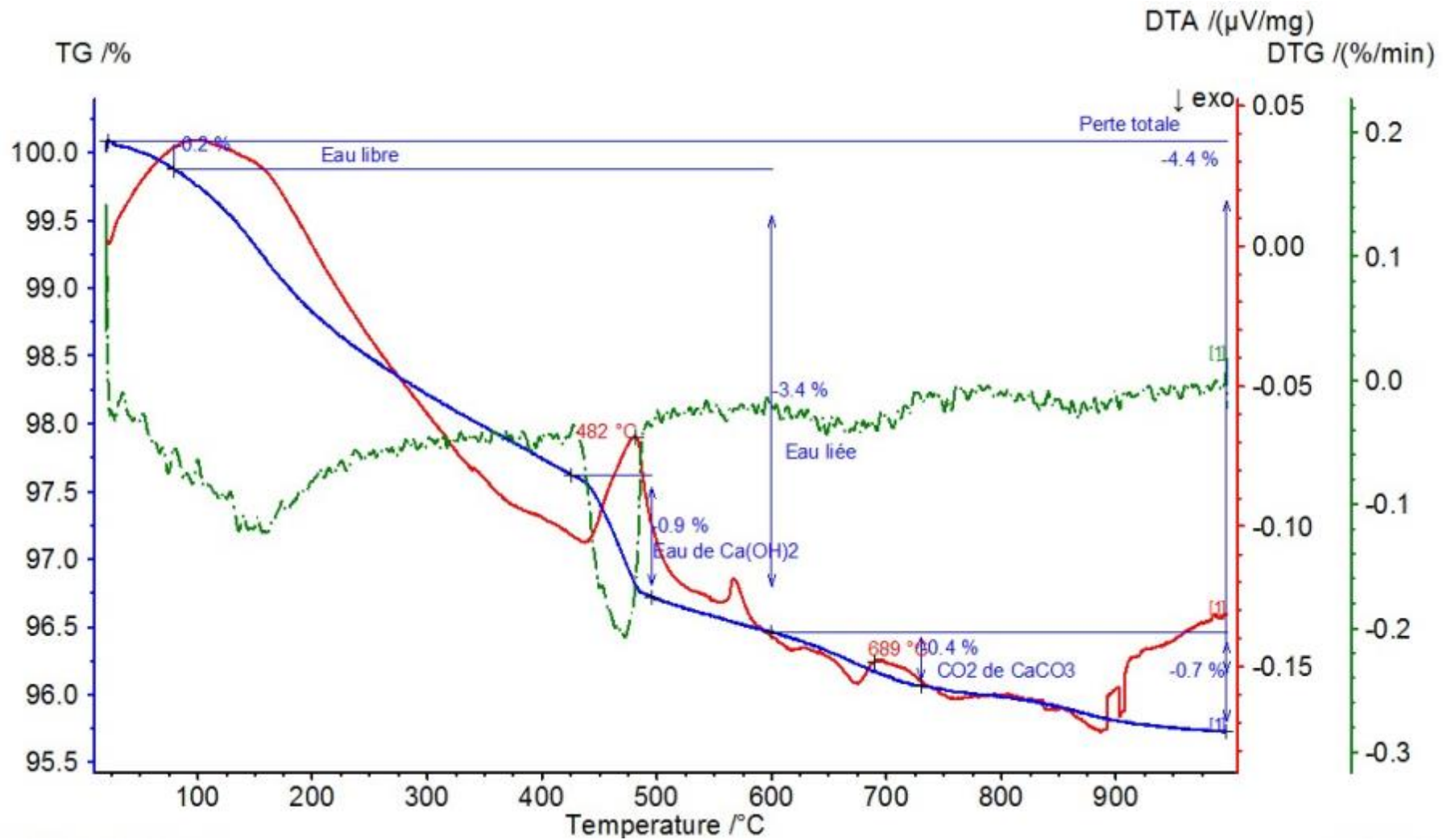


Fig. 71 : Thermogramme de l'échantillon 44574-6



setec

Votre témoignage nous est utile !

Certificat capacité

Bonjour, vous venez de recevoir notre rapport : Rapport d'étude n°44574.001.01.A
Nous vous serions reconnaissants de prendre quelques instants pour nous donner votre avis en complétant le questionnaire suivant, puis en nous le retournant à l'adresse indiquée en bas de page, afin d'améliorer la qualité de nos prestations :

Titre du rapport *Recherche de l'origine des dégradations du béton des décanteurs lamellaires de deux bâtiments situés à Bègles (33).*

Référence commande *Bon pour accord-courrier du 21/12/18PE000719/DMAT*

Société *Monsieur Claude EXPERT*

Votre correspondant *Thibault LENORMAND
Théo COLLIN*

Date de livraison *29/05/2019*

Libellé	 Satisfait	 A améliorer
1) Contenu technique	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) Disponibilité et réactivité	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) Respect des délais	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) Présentation et clarté des documents	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) Relation et échanges avec nos services	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

- 1) Quels sont à ce jour les produits et services que vous aimeriez nous voir réaliser ?
- 2) Dans le prolongement de cette étude souhaiteriez-vous connaître nos programmes de formation pour approfondir vos connaissances ?

Remarques et suggestions :

NOM (signature et cachet)
<i>Merci de nous retourner ce document par fax au 04.90.96.25.27 ou par courrier à : LERM - CS 60136 - 13631 ARLES Cedex à l'attention de Thierry RAJNAK - Responsable QHSE</i>

www.setec.fr

lerm – groupe setec
Bureaux et laboratoires
23 rue de la Madeleine
CS 60136
13631 ARLES CEDEX
FRANCE

Tél +33 4 86 52 65 00
Fax +33 4 90 96 25 27
contact@lerm.setec.fr

Agence Ile-de-France
Immeuble Central Seine
42 - 52 quai de la Rapée
CS 71230
75583 PARIS CEDEX 12
FRANCE

Tél +33 1 82 51 41 00
Fax +33 4 90 96 25 27

Agence Auvergne-Rhône-Alpes
Immeuble le Crystallin
191-193 Cours Lafayette
CS 20087
69458 LYON Cedex 06
FRANCE

Tél +33 4 86 52 65 00
Fax +33 4 90 96 25 27

Agence Nord-Ouest
Centre d'affaires IDF
4 avenue Charles Tillon
35000 RENNES
FRANCE

Tél +33 6 87 71 40 21
Fax +33 4 90 96 25 27

Agence Sud-Ouest
Bâtiment Les Oliviers
445, avenue l'Occitane
31670 LABEGE
FRANCE

Tél +33 5 61 72 28 09
Fax +33 4 90 96 25 27

