GÉOTEC
ENSEMBLE, CONCEVONS UN AVENIR DURABLE



RAPPORT

Reconnaissances structurelles
Station Biologique de ROSCOFF

Mission de reconnaissance structurelles
ROSCOFF
Station biologique de ROSCOFF

SCIENCES SORBONNE UNIVERSITÉ

structures

Référence : 2024/11615/NANTS				Diagnostic de capacité portante		
Indice	Date	Modifications Observations	Nbre de pages de texte + Nbre d'Annexes	Établi par	Vérifié par	Approuvé par
0	18/04/2025	Première émission	32 + 3	Romain POMMIER	Frederic GAUTIER	Thomas GAIGNEUR
A	23/05/2025	Résultats MEB	34 + 3	Frederic GAUTIER	Frederic GAUTIER	Thomas GAIGNEUR
B	02/06/2025	Fin résultats laboratoire	37 + 3	Frederic GAUTIER	Frederic GAUTIER	Thomas GAIGNEUR

Nb : l'indice le plus récent de la même mission, annule et remplace les indices précédent

AGENCE NANTES
Z.A Clair de Lune
44360 ST-ETIENNE-DE-MONTLUC
Tél : 02.40.92.04.90
Mail : agence.nantes@geotec.fr

Siège social
9 boulevard de l'Europe 21800 QUETIGNY - Tél : 03.80.48.93.20
SAS au capital de 952 200 € - Siret 778 196501 00028
Code NAF 7112B – Qualité OPQIBI
Membre SYNTEC, USG et UPDS - www.geotec.fr

SOMMAIRE

1. LIMINAIRE 4
2. CADRE D'INTERVENTION 4
2.1 SITUATION 4
2.2 CONTEXTE 5
2.3 INTERVENANTS 6
2.4 OBJECTIFS DE LA MISSION 6
3. CONTENU DE LA MISSION 7
3.1 PROGRAMME D'INVESTIGATION IN SITU 7
3.2 PROGRAMME D'ESSAIS EN LABORATOIRE 8
3.3 MOYENS MIS EN ŒUVRE IN SITU 9
4. RESULTATS DES INVESTIGATIONS STRUCTURELLES 11
4.1 LOCALISATION DES INVESTIGATIONS 11
4.2 SONDAGES DESTRUCTIFS DES STRUCTURES EN BETON ARME [RS] 11
4.3 HABILLAGES EN ELEVATION [DH] 12
4.4 CAROTTAGE HORIZONTAL DE RECONNAISSANCE D'OUVRAGE [C] 13
4.5 CARACTERISATION MECANIQUE DES BETONS ARMES [ECM] 14
4.6 CARACTERISATION PHYSICO-CHIMIQUE DES BETONS [PC] 16
4.7 PROFONDEUR DE CARBONATATION DES BETONS [CA] 18
4.8 AUSCULTATION DE PLANCHERS BETON POUTRELLES-HOURDIS [AU] 19
4.9 SONDAGES DE SOL NON TRAVERSANT DE PLANCHERS BOIS [SB] 20
4.10 SONDAGES DE SOL NON TRAVERSANT DE PLANCHERS BETON [SBE] 20
4.11 DETERMINATION DU COEFFICIENT D'ABSORPTION D'UN MATERIAU 21
4.12 TRAITEMENT STATISTIQUE DES ENROBAGES 22
4.12.1 Sous-face de dalle 22
4.12.2 Chant des poutres secondaires 23
4.12.3 Chant des linteaux (parement extérieur) 24
5. RESULTATS DES ESSAIS EN LABORATOIRE 25
5.1 RESISTANCE A LA COMPRESSION DES BETONS 25
5.2 ESSAI DE TRACTION SUR METAL 25
5.3 EXAMEN MACROSCOPIQUE 26

5.4 MESURE DE LA POROSITE OUVERTE / MASSE VOLUMIQUE APPARENTE 28
5.5 DOSAGES EN CIMENT DES BETONS 29
5.6 DOSAGES EN CHLORURES LIBRES, SULFATES ET ALCALINS 30
5.7 EXAMEN AU MICROSCOPE ELECTRONIQUE A BALAYAGE (MEB) 31
CONDITIONS GENERALES 35

ANNEXES
ANNEXE 1 : PLANS D'IMPLANTATION DES SONDAGES
ANNEXE 2 : PLANS ET COUPES DES SONDAGES
ANNEXE 3 : PV DES ESSAIS EN LABORATOIRE

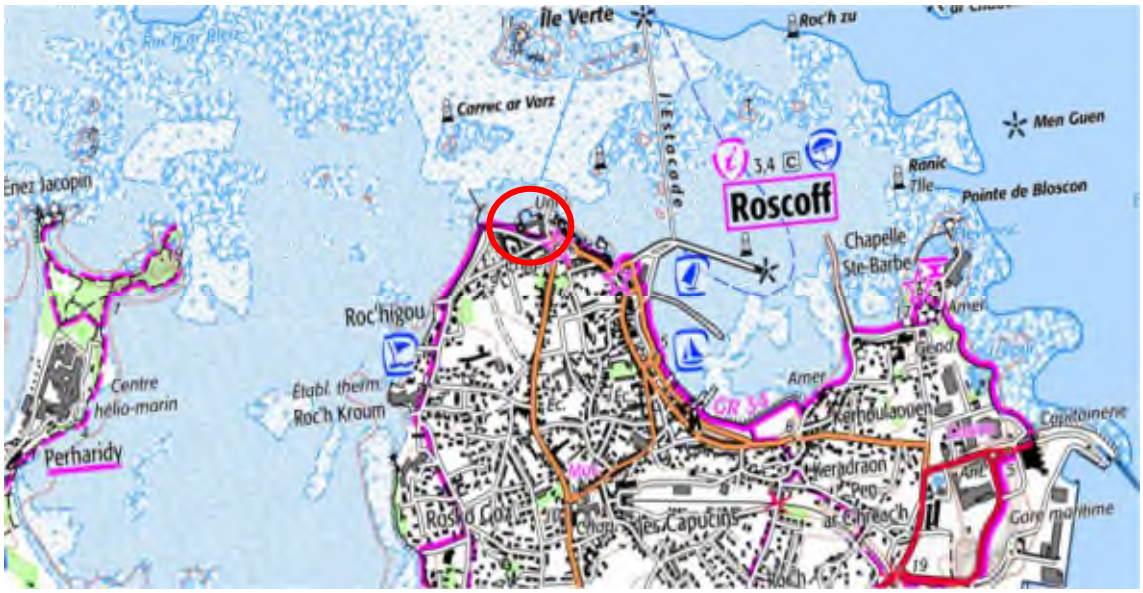
GÉOTEC
ENSEMBLE, CONCEVONS UN AVENIR DURABLE

1. LIMINAIRE

Le présent indice B du rapport fait suite à la complétion de ce dernier par les résultats des dosages en chlorures libres, sulfates et alcalins, aux mesures de densité et de porosité et à l'estimation des dosages en ciment sur les carottes PC1 à PC8 (Cf. § 5.4 à § 5.6 en pages 28 à 31).

2. CADRE D'INTERVENTION

2.1 SITUATION



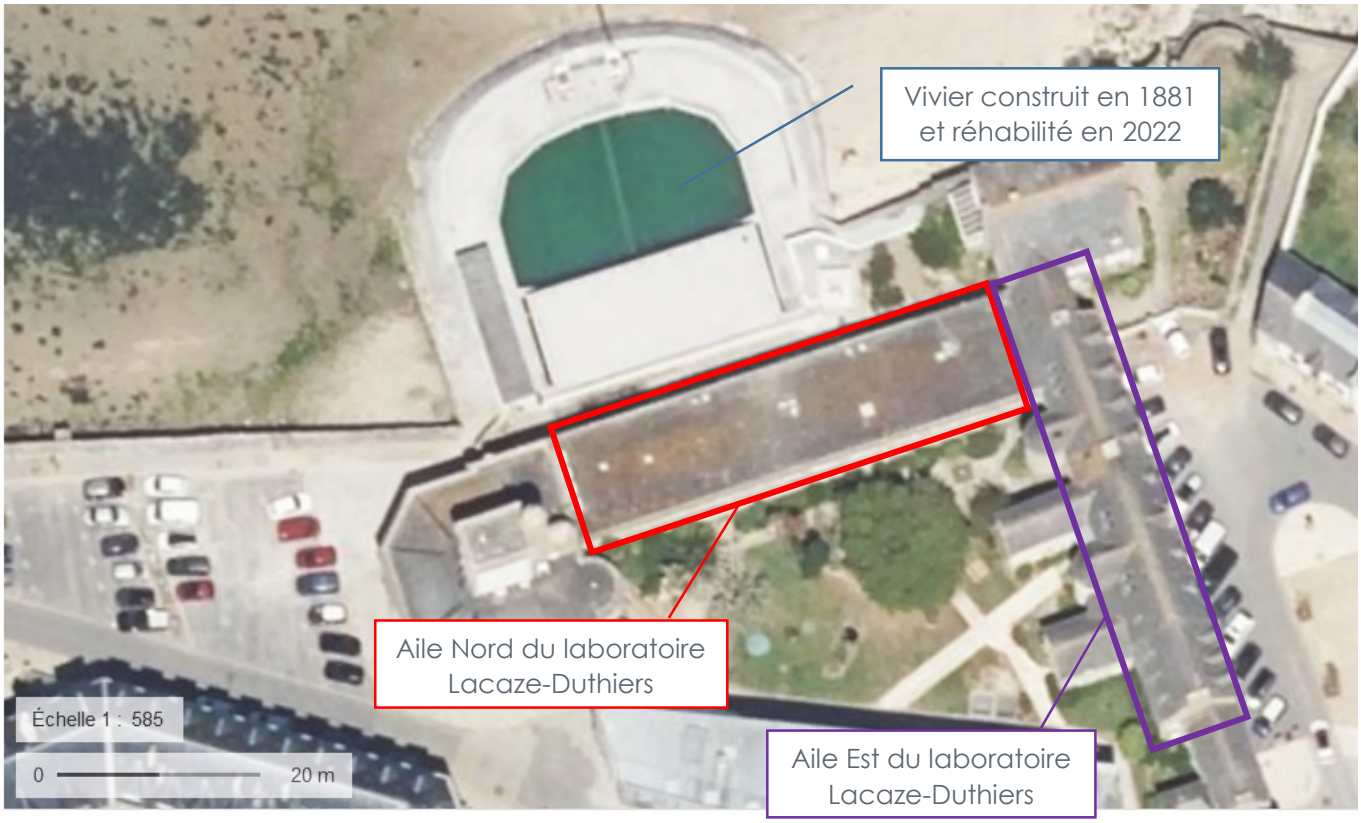
Localisation du bâtiment investigué (Source : https://www.geoportail.gouv.fr)



Vue aérienne du bâtiment (Source : https://www.geoportail.gouv.fr)

2.2 CONTEXTE

La Station biologique de Roscoff est un centre de recherche et d'enseignement en biologie marine et écologie marine sous tutelle de la faculté des sciences et ingénierie de Sorbonne Université et du CNRS.



La partie de l'ouvrage concernée par l'étude correspond aux ailes Nord et Est du laboratoire Lacaze-Duthiers, construites en 1891 pour la partie RDC et achevées en 1906 pour le 1er étage. Du fait de l'âge de la construction et de son exposition à l'ambiance saline en front de mer, des dégradations des éléments en béton armé se sont formées sous la forme de fissures évoluant en éclats de béton avec aciers apparents corrodés sous-jacents. De nombreuses réparations du béton ont pu être relevées, essentiellement en façade nord, certaines très récentes. Néanmoins, les parties reprises présentent déjà des signes de pathologies, du fait :

- D'un défaut de réparation,
- Et/ou du phénomène d'anode induite.

Dans l'optique du projet de réparation de l'ouvrage, il convient d'améliorer les connaissances actuelles des matériaux de la structure :

- En caractérisant les matériaux d'un point de vue physico-mécanique, mais également chimique,
- En identifiant les éventuelles pathologies affectant la structure en béton armé, et en déterminant si celles-ci sont d'origine endogène ou dues à une pollution extérieure.

2.3 INTERVENANTS

A la demande du bureau d'études EQUILIBRE STRUCTURES et pour le compte de Science Sorbonne Université, GEOTEC – Agence de Nantes a réalisé des analyses et sondages structurels sur le site de la station biologique à ROSCOFF (29).

2.4 OBJECTIFS DE LA MISSION

Le diagnostic fait suite à l'offre GEOTEC 2024/11615/NANTS du 23/01/2025, acceptée le 03/04/2025 via le bon de commande référencé n°4500415398.

Les objectifs de la mission sont de :

- ⇨ Procéder à des investigations et des prélèvements d'échantillons sur site,
- ⇨ Réaliser des essais en laboratoire,
- ⇨ Fournir un rapport de mission comprenant :
  - o Un rappel du contexte,
  - o La localisation des investigations, avec reportage photographique,
  - o Les coupes des éléments investigués, accompagnées d'un reportage photographique :
    - Les géométries des éléments (sections, portée, entraxe), leur nature, les ferraillages mis à nu,
    - Les positions des poutrelles,
    - Les descriptions des carottes,
    - Les coupes des complexes en surface des planchers,
    - Les éventuelles observations au droit des sondages,
  - o Les résultats des essais réalisés in situ et en laboratoire :
    - Les valeurs de coefficients d'absorption,
    - Les descriptions des carottes et photographies,
    - Les résistances à la compression des bétons,
    - Les caractéristiques mécaniques des armatures soumises aux essais de traction,
    - Les porosités ouvertes et masses volumiques apparentes des bétons,
    - Les estimations des teneurs en ciment,
    - Les teneurs en chlorures libres, en sulfates et en alcalins,
    - Les résultats des examens au MEB et sur la présence de pathologies des bétons,
    - Les profondeurs de carbonatation mesurées, avec reportage photographique, et établissement de graphique de répartition statistique des enrobages et comparaison aux profondeurs de front de carbonatation mesurées pour apprécier le risque de corrosion des aciers,
    - Les commentaires des résultats d'essais.

3. CONTENU DE LA MISSION

3.1 PROGRAMME D'INVESTIGATION IN SITU

Les investigations sur site ont consisté en :

⇨ Reconnaissance structurelle comprenant :

- **La détection du ferraillage** à l'aide d'un appareil de détection électromagnétique (Ferroscan de marque HILTI) ou d'un Radar structurel (de marque GSSI) :

  16 unités réalisées (Type RS)

- **La reconnaissance du ferraillage par sondage buriné ponctuel** pour détermination de la nature et de la composition de celui-ci (nombre de lits, type d'aciers, diamètre, enrobage) :

  16 unités réalisées (Type RS)

- **La reconnaissance d'ouvrage** par la réalisation de carottage traversant pour détermination de la nature des éléments (béton/maçonnerie) :

  3 unités réalisées (Type C)

- **La reconnaissance d'ouvrage** par la réalisation de micro-carottage (traversant ou non) pour détermination de la nature des éléments (béton/maçonnerie) et le prélèvement d'échantillons pour essais en laboratoire :

  18 unités réalisées (Type ECM + PC + CA)

- **L'auscultation de plancher béton poutrelle-hourdis** à l'aide d'un appareil de détection électromagnétique (Ferroscan de marque HILTI) ou d'un Radar structurel (de marque GSSI) :

  3 unités réalisées (Type AU)

- **Sondage de sol non traversant de plancher bois** pour la détermination des dimensions des éléments constitutifs (revêtement de sol, section d'une poutre, d'une solive, entraxe) :

  2 unités réalisées (Type SB)

- **Sondage de sol non traversant de plancher béton** pour déterminer la nature et l'épaisseur des revêtements de sol et chapes, ainsi que de déterminer l'épaisseur de la dalle béton :

  2 unités réalisées (Type SBE)

- **La réalisation de mesures du coefficient d'absorption** d'un matériau par la méthode de Karsten :

  8 unités réalisées (Type K)

- **Rebouchage des sondages** au mortier de réparation fibré sans remise en état à l'identique (pas de réfection des revêtements).

3.2 PROGRAMME D'ESSAIS EN LABORATOIRE

Le programme d'essais en laboratoire a compris :

- **Description macroscopique des carottes** [type ECM+PC+CA] consistent décrier les carottes extraites (longueur, diamètre, aspect général, compacité, description des granulats, prise de photographies avec échelle) :

  Quantité réalisée : 18 unités

- **Essai de caractérisation mécanique** des bétons armés [type ECM] : Ces essais ont consisté en :
  - Pour le béton : déterminer la résistance brute à la compression du béton (essais sur carottes) selon la norme NF EN 12604-1 et NF EN 13791 (y compris préparation des éprouvettes : sciage ou rectification, surfaçage, à un élancement de 1 ou 2) :

    Quantité réalisée : 4 unités
  - Pour les armatures : déterminer les propriétés intrinsèques des armatures (rupture, contrainte d'élasticité, allongement) à partir des prélèvements d'armatures (cadres) selon la norme NF EN ISO 6892-1 (essai de traction sur matériaux métalliques à température ambiante). Eu égard au type d'armature prélevée et de l'impossibilité de façonner des éprouvettes, les essais de traction ont été remplacés par des essais de dureté Vickers (NF EN ISO 6507-1) pour les éléments plats :

    Quantité réalisée : 3 unités

- **Essai de caractérisation physico-chimique** des bétons [type PC] : Ces essais ont consisté à déterminer :
  - La masse volumique apparente et la porosité ouverte (accessible à l'eau) du béton,
  - La teneur en ciment (par estimation) du béton, à partir des dosages en silice et des masses volumiques mesurées et des observations au microscope (observation d'éventuels ajouts),
  - Une éventuelle pollution des bétons par dosages des teneurs en chlorures libres, sulfates et alcalins du béton (sodium et potassium et teneur en alcalins équivalent Na2O).

    Quantité réalisée : essais en cours

- **Examen au MEB (couplé à des analyses à la sonde EDS) pour recherche de pathologies** des bétons :

  Quantité réalisée : essais en cours

- **Mesure de la profondeur de carbonatation** (type CA] basée sur une estimation du pH du béton :

  Quantité réalisée : 31 unités (15 unités RS, 4 unités ECM, 8 unités PC et 4 unités CA)

3.3 MOYENS MIS EN ŒUVRE IN SITU

Les moyens mis en œuvre pour mener à bien la mission sont présentés ci-dessous :

- ✓ Moyens d'accès :

Il a été utilisé une PIRL et un escabeau pour l'accès aux sous-faces de dalles et aux poutres.

A l'extérieur, l'accès aux façades s'est fait à partir d'une nacelle automotrice diesel de hauteur 12 m.

- ✓ Détection des armatures :

Il a été utilisé un appareil de détection par induction électromagnétique (type Ferroscan de marque HILTI) et un radar StructureScan, qui permet de façon non destructive de détecter les armatures sur 10-12 cm pour le Ferroscan et 30-40 cm de profondeur pour le radar.

Pour le Ferroscan, les mesures sont réalisées sur une ligne et permettent de repérer les armatures perpendiculaires au sens de parcours de la mesure. Le résultat est donné sous forme de diagramme où l'on peut voir les enrobages des armatures et leurs espacements.

Concernant le radar structurel, il s'agit d'un appareil d'auscultation des structures qui utilise la réflectométrie d'impulsions électromagnétiques de fréquence radar. L'onde radar est émise et réceptionnée par une antenne de mesure déplacée sur la structure à ausculter. Les réflexions sur les interfaces, les armatures et les hétérogénéités présentes dans l'élément ausculté forment une image qui est visualisée sur l'écran de contrôle, au fur et à mesure du déplacement de l'antenne.

- ✓ Carottage du béton :

La reconnaissance des structures et le prélèvement d'échantillons ont nécessité des carottages à l'aide d'une couronne diamantée (de diamètre adapté à l'espacement des armatures afin de ne pas en sectionner).

Après repérage des armatures au préalable, la carotteuse (type DD150 de chez HILTI ou équivalent) a été fixée mécaniquement dans le béton (ou les maçonneries le cas échéant) par chevillage et le forage a été refroidi à l'eau, avec aspiration du fluide de forage à l'aide d'un récupérateur d'eau.

Après extraction, les carottes ont été nettoyées, photographiées, répertoriées puis conditionnées en sacs étanches.

- ✓ Sondage destructif :

Des sondages destructifs au burineur sont réalisés afin de reconnaitre la nature des éléments et afin de relever leurs dimensions.

Pour les éléments en béton armé, après détection de la position des armatures, ces sondages permettent de mettre à nu les aciers en des points représentatifs. On utilise ensuite un pied à coulisse pour mesurer précisément le diamètre des armatures. Cela permet également de déterminer la nature de l'acier (Haute Adhérence, Rond Lisse, Précontraint) et de juger son état de corrosion.

✓ Essais Karsten :

Le principe de l'essai est le suivant : le support testé est soumis à une pression exercée par la colonne d'eau contenue dans la pipe de verre. Selon sa porosité et sa capacité à absorber et redistribuer de l'eau en son sein, le matériau absorbe plus ou moins lentement l'eau contenue dans la pipe.

✓ Matériel de relevé et mesure :

Le matériel suivant a été utilisé pour réaliser les différents relevés et mesures de l'ouvrage :

- Pied à coulisse (mesure des épaisseurs),
- Mètre, décamètre, laser mètre, pige : relevé dimensionnel,
- Appareil photographique : prise de clichés des sondages et essais.

✓ Matériel divers

- Enrouleurs électriques,
- Aspirateur à poussière et à eau,
- Matériel et matériaux de rebouchage,
- Meuleuse d'angle sur batterie.

4. RESULTATS DES INVESTIGATIONS STRUCTURELLES

4.1 LOCALISATION DES INVESTIGATIONS

La localisation des investigations figure sur les plans en ***Annexe 1.***

4.2 SONDAGES DESTRUCTIFS DES STRUCTURES EN BETON ARME [RS]

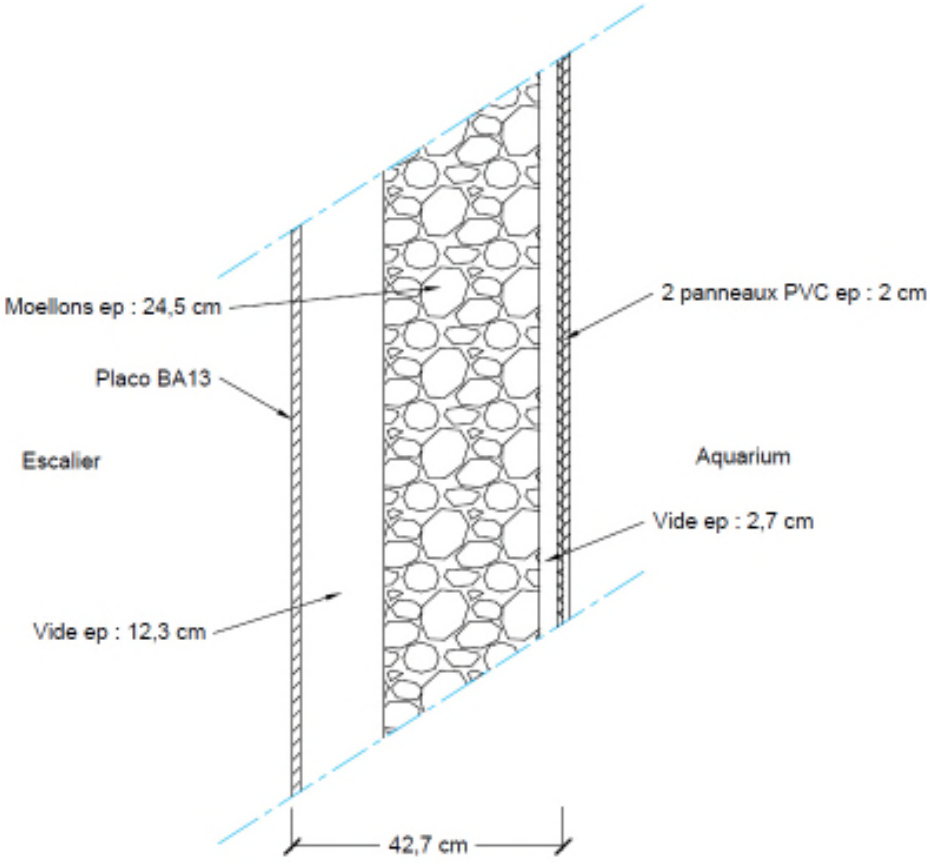
Les résultats de la reconnaissance figurent sur les plans et coupes en **Annexe 2.**

Le tableau ci-dessous récapitule l'état des aciers mis à nu pour les différents sondages :

Sondage	Elément	Etat des aciers	Commentaires
RS1	Linteau	**Corrosion avec perte de section**	-
RS2	Poteau	Oxydation superficielle	Elément moins ancien
RS3	Poutre	Corrosion	-
RS4	Plancher	Oxydation superficielle	-
RS5	Poutre secondaire	Corrosion	-
RS6	Linteau	**Corrosion avec perte de section**	-
RS7	Poutre principale	Amorce de corrosion	-
RS8	Poutre secondaire	Amorce de corrosion	-
RS9	Poutre secondaire	**Corrosion avec perte de section**	Ancienne réparation avec passivation
RS10	Plancher	Amorce de corrosion	-
RS11	Poutrelle	Oxydation superficielle	-
RS12	Poutre secondaire	**Corrosion avec perte de section**	**Décollement interface béton/acier**
RS13	Plancher	Amorce de corrosion	-
RS14	Linteau	**Corrosion avec perte de section**	**Aciers originels dissous**
RS15	Linteau	Corrosion avec perte de section	**Aciers originels dissous**
RS16	Plancher	Oxydation superficielle	Humidité + fissure biaise

4.3 HABILLAGES EN ELEVATION [DH]

La reconnaissance DH1 a mis en évidence la coupe suivante (Cf. ***Annexe 2***) :



4.4 CAROTTAGE HORIZONTAL DE RECONNAISSANCE D'OUVRAGE [C]

Les coupes des carottages C1, C2 et C3 sont présentées ci-dessous :

N° échantillon	Dimensions (mm)	Description	Photographie
C1	Ø : 74 L : 260	Carottage non traversant Dmax = 29 mm Bullage moyen à élevé Mortier : 10 mm Béton : 250 mm	
C2	Ø : 74 L : 250	Carottage traversant Mur maçonné (pierre/mortier) Mortier cohésif	
C3	Ø : 74 L : 630	Carottage traversant Mur maçonné (pierre/mortier) Mortier non cohésif	

Commentaires :

Pour le carottage C1, celui-ci a mis en évidence au niveau du soubassement, sous le poteau en béton armé en élévation, un élément en béton non armé (pas d'armatures détectées par les mesures).

Les carottages C2 et C3 ont mis en évidence des murs en maçonneries avec des mortiers de cohésion variable.

4.5 CARACTERISATION MECANIQUE DES BETONS ARMES [ECM]

Les coupes des carottages ECM1 à ECM4 sont présentées ci-dessous :

Elément	N° échantillon	Dimensions (mm)	Description	Photographie
Poteau	ECM1	Ø : 74 L : 275	Dmax = 12 mm Bullage faible Carbo. : 10 mm (enduit) Enduit : 10 mm Béton : 265 mm	
Poutre principale	ECM2	Ø : 74 L : 215	Dmax = 35 mm Bullage moyen Carbo. : 95 mm Plâtre : 5 mm Béton : 210 mm	
Dalle haute	ECM3	Ø : 74 L : 98	Dmax = 16 mm Bullage élevé Carbo. : > 60 mm Ragréage : 10 mm Mortier : 15 mm Béton : 73 mm	
Poteau	ECM4	Ø : 74 L : 165	Dmax = 10 mm Bullage moyen Carbo. : > 120 mm Peinture : inf à 1 mm Mortier : 30 mm Béton : 135 mm	

En parallèle aux carottages, il a été prélevé des échantillons d'aciers pour procéder en laboratoire à des essais mécaniques.

Elément	N° échantillon	Description	Photographie
Poteau	ECM1acier	Acier Rond lisse Ø 6 mm	
Poutre secondaire	ECM2acier	Cadre plat 2 mm x 30 mm	
Poutre secondaire	ECM4acier	Cadre plat 2 mm x 30 mm	

Commentaires :

La localisation des prélèvements d'armatures a dû être adaptée du fait des modes constructifs mis en œuvre :

- *Sur les poteaux : éléments plats disposés « à plat » en remplacement des cadres et percés aux extrémités pour le passage des filants verticaux : impossibilité de prélever ces aciers,*
- *De l'absence d'aciers de répartition dans les dalles (empêchant le prélèvement d'armatures sur les aciers porteurs de la dalle).*

4.6 CARACTERISATION PHYSICO-CHIMIQUE DES BETONS [PC]

Les coupes des carottages PC1 à PC8 sont présentées ci-dessous :

Niveau Elément	N° échantillon	Dimensions (mm)	Description	Photographie
RDC Linteau	PC1	Ø : 52 L : 230	Dmax = 22 mm Bullage moyen Carbo. : > 70 mm Béton : 230 mm	
R+1 Linteau	PC2	Ø : 52 L : 240	Dmax = 21 mm Bullage moyen Carbo. : > 80 mm Enduit : 5 mm Béton : 235 mm	
RDC Dalle haute	PC3	Ø : 74 L : 115	Dmax = 19 mm Bullage moyen à élevé Carbo. : > 75 mm Carrelage + colle : 10 mm Ragréage : 5 mm Béton : 230 mm	
R+1 Linteau	PC4	Ø : 52 L : 225	Dmax = 30 mm Bullage moyen à élevé Carbo. : > 80 mm Enduit : 10 mm Béton : 215 mm	

Niveau Elément	N° échantillon	Dimensions (mm)	Description	Photographie
RDC Linteau	PC5	Ø : 52 L : 80	Dmax = 12 mm Bullage moyen à moyen Carbo. : > 70 mm Enduit : 10 mm Béton : 70 mm	
RDC Dalle haute	PC6	Ø : 74 L : 105	Dmax = 15 mm Bullage élevé Carbo. : > 60 mm Lino : 6 mm Ragréage 1 : 5 mm Ragréage 2 : 10 mm Béton : 68 mm	
R+1 Dalle haute	PC7	Ø : 74 L : 150	Dmax = 16 mm Bullage élevé Carbo. : > 70 mm Bitum : 36 mm Béton : 114 mm	
R+1 Dalle haute	PC8	Ø : 52 L : 205	Dmax = 20 mm Bullage moyen Carbo. : > 70 mm Bitum : 40 mm Béton : 165 mm	

Commentaires :

La localisation des prélèvements de béton par carottages a dû être adaptée à l'encombrement disponible sur site, à la géométrie des éléments.

4.7 PROFONDEUR DE CARBONATATION DES BETONS [CA]

Les coupes des carottages CA1 à CA6 sont présentées ci-dessous :

Niveau Elément	N° échantillon	Dimensions (mm)	Description	Photographie
R+1 Linteau	CA1	Ø : 52 L : 173	Dmax = 18 mm Bullage moyen Carbo. : > 80 mm	
RDC Poteau	CA2	Ø : 74 L : 161	Dmax = 21 mm Bullage moyen Carbo. : 45 mm Ragréage : 10 mm Béton : 151 mm	
RDC Dalle haute	CA3	Ø : 74 L : 130	Dmax = 29 mm Bullage moyen à élevé Carbo. : 90 mm Lino 1 : 3 mm Lino 2 : 5 mm Ragréage 1 : 6 mm Ragréage 2 : 7 mm Béton :103 mm	
RDC Dalle haute	CA4	-	Carbo. : > 90 mm	

Niveau Elément	N° échantillon	Dimensions (mm)	Description	Photographie
R+1 Dalle haute	CA5	Ø : 74 L : 156	Dmax = 36 mm Bullage moyen à élevé Carbo. : > 80 mm Plâtre : 6 mm Etanchéité : 42 mm Chape : 18 mm Béton : 96 mm	
R+1 Dalle haute	CA6	Ø : 74 L : 190	Dmax = 20 mm Bullage élevé Carbo. : > 80 mm Etanchéité : 22 mm Chape : 55 mm Etanchéité : 13 mm Béton : 100 mm	

Commentaire :

Eu égard à la présence de parquet au niveau du plancher bas R+1 au droit de CA4, le carottage traversant a été remplacé par un sondage buriné en sous-face pour procéder à la mesure de profondeur de carbonatation.

D'un point de vue global, la carbonatation est développée, voire très développée, et a atteint les armatures, pouvant occasionner une corrosion des aciers (Cf. § 3.2 et § 3.12).

4.8 AUSCULTATION DE PLANCHERS BETON POUTRELLES-HOURDIS [AU]

Le report de la localisation des poutrelles des planchers figure en **Annexe 2.**

4.9 SONDAGES DE SOL NON TRAVERSANT DE PLANCHERS BOIS [SB]

Le report de la localisation des poutrelles des planchers figure en **Annexe 2.**

Pour résumer, il a été mis en évidence :

- Plancher bas R+1 :
    - Un parquet bois de 20 mm posé sur chevrons,
    - Des solives bois de section 7,5 cm x 20 cm ht,
    - Un faux-plafond en lattis,
    - Un renfort en sous-face de plancher par l'intermédiaire de 2 profilés IPN 300.

- Plancher bas R+2 :
    - Plusieurs revêtements successifs (de haut en bas : parquet stratifié, moquette, OSB, laine de roche, parquet massif),
    - Des solives bois de section 7,8 cm x 20 cm ht. Notons que ces solives ont été renforcées aux appuis par des plats métalliques sur chaque chant des solives,
    - Un faux-plafond en plaques de placoplâtre.

4.10 SONDAGES DE SOL NON TRAVERSANT DE PLANCHERS BETON [SBE]

Le report de la localisation des poutrelles des planchers figure en **Annexe 2.**

Pour résumer, il a été mis en évidence :

- Plancher bas R+1 :
    - Un parquet bois de 22 mm,
    - Un plancher béton en poutrelles-hourdis (épaisseur du plancher de 23-24 cm).

- Plancher bas R+2 :
    - Un revêtement de sol (3 mm) mis en œuvre sur un ragréage (4 mm),
    - Un plancher béton en poutrelles-hourdis (épaisseur du plancher de 24 cm),
    - Notons que le sondage (réalisé à l'aplomb d'une ferme de charpente) n'a pas mis en évidence d'éléments bois noyé dans le plancher.

4.11 DETERMINATION DU COEFFICIENT D'ABSORPTION D'UN MATERIAU

Les résultats des mesures opérées sin situ figurent dans le tableau ci-dessous :

Niveau Elément (Exposition)	N° essai	Support testé	Coefficient d'absorption (kg/m².sec^{0,5})
RDC Poteau (intérieur)	K1	Béton peint	Non mesuré
RDC Linteau (intérieur)	K2	Béton peint (peinture altérée)	< 0,010
R+1 Poutre (intérieur)	K3	Béton	< 0,010
R+1 Poutre (intérieur)	K4	Béton	< 0,010
RDC Poteau (extérieur)	K5	Parement brut	0,021
RDC Poteau (extérieur)	K6	Parement brut	< 0,010
RDC Poteau (extérieur)	K7	Parement brut	< 0,010
RDC Poteau (extérieur)	K8	Parement brut	< 0,010

Commentaire :

Les essais réalisés ne montrent aucune absorption d'eau (K1) ou très faible (K2 à K8) à la pipe de Karsten après 5, 10 et 15 minutes. Ces résultats démontrent que le béton est très peu absorbant sous basse pression.

4.12 TRAITEMENT STATISTIQUE DES ENROBAGES

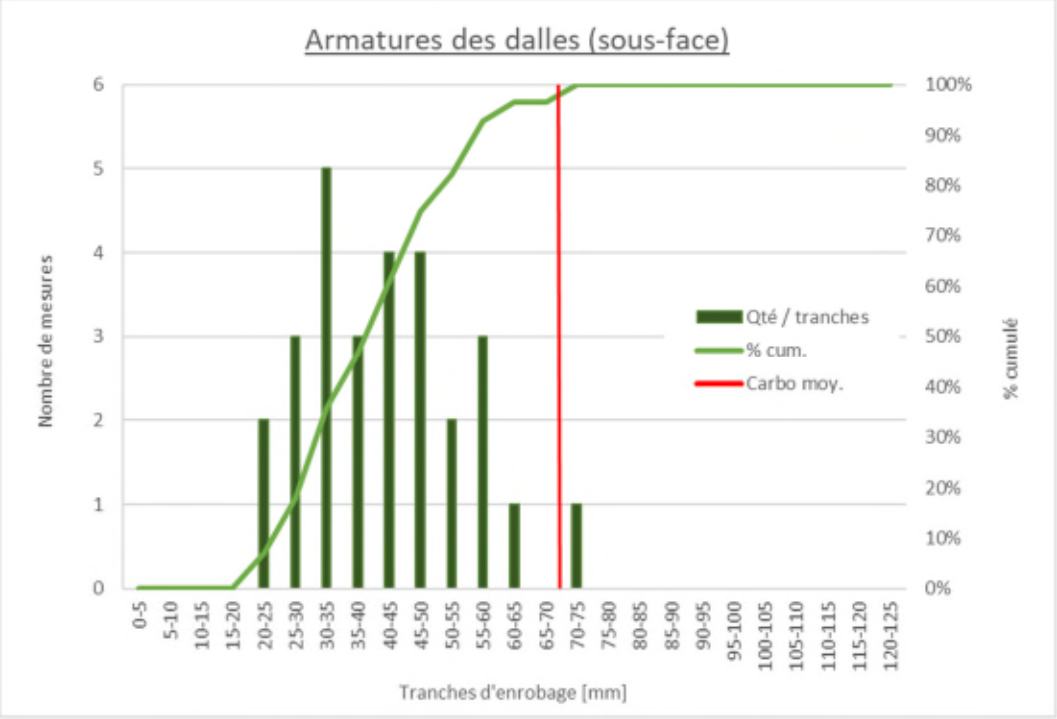
Des mesures d'enrobage ont été effectuées à l'aide d'un radar structurel sur les parements des éléments de structure afin de caractériser l'enrobage des armatures et de les comparer aux profondeurs de carbonatation mesurées sur site.

4.12.1 Sous-face de dalle

Les résultats des mesures d'enrobage des armatures sont les suivants :

Type	Nombre d'aciers détectés	Enr min (mm)	Enr max (mm)	Enr moy (mm)	Ecart type (mm)
Armatures * / sous-face de dalle	28	21	71	42	13

** Aciers porteurs essentiellement (car absence d'aciers de répartition dans les dalles : Cf. coupes des sondages), hormis en RS13 (aciers porteurs et de répartition)*



Commentaires :

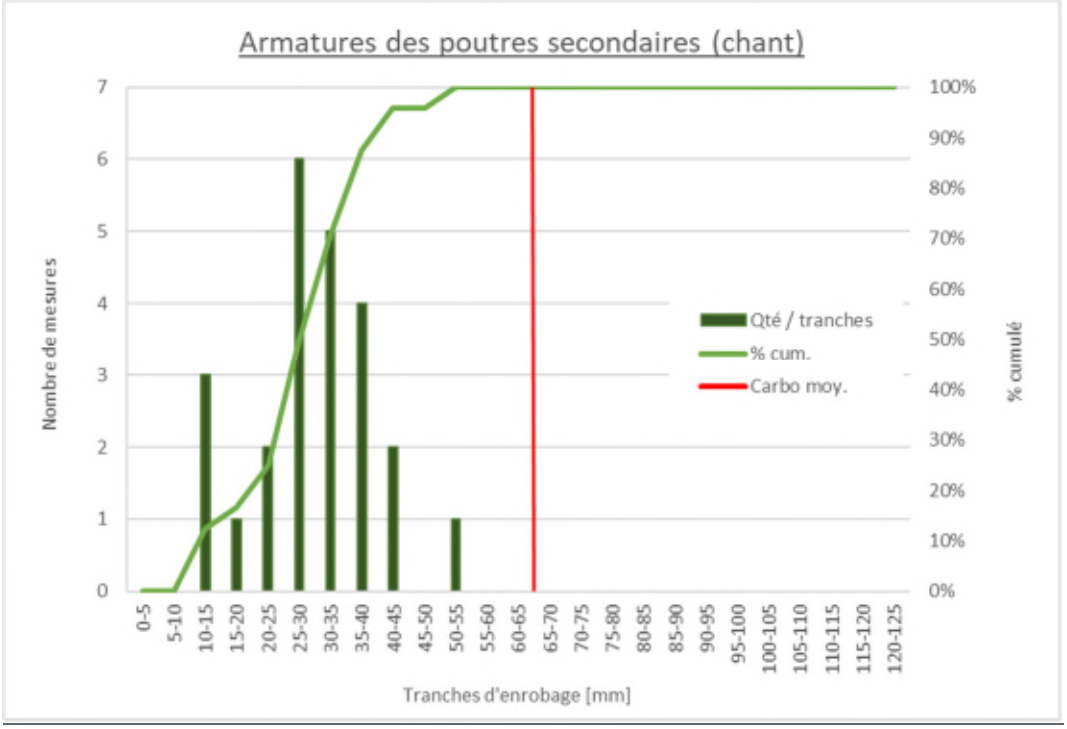
Pour les dalles en béton, l'enrobage est globalement satisfaisant, avec une moyenne à 42 mm. Moins de 20% des aciers détectés se situent à moins de 30 mm de la sous-face. Rappelons que les Règles de 1906 préconisaient un enrobage de 15 à 20 mm pour les armatures principales (aucune indication pour les armatures transversales).
Par contre, ***la carbonatation est fortement développée*** *(> 50 mm pour toutes mesures réalisées) et intéresse la totalité des aciers détectés. Ainsi,* ***le risque de corrosion par carbonatation apparaît fort pour les armatures des dalles.***

4.12.2 Chant des poutres secondaires

Les résultats des mesures d'enrobage des armatures sont les suivants :

Type	Nombre d'aciers détectés	Enr min (mm)	Enr max (mm)	Enr moy (mm)	Ecart type (mm)
Armatures * / chant des nervures	24	12	55	30	10

** Cadres uniquement. En fonction des enrobages mesurés et de la géométrie des nervures, il a été déterminé et pris en compte les enrobages les plus faibles vis-à-vis des 2 faces des éléments (armatures non centrées dans la largeur des nervures).*



Commentaires :

Pour les poutres secondaires, l'enrobage est globalement satisfaisant, avec une moyenne à 30 mm, respectant les préconisations de l'époque de construction (Cf. § précédent).

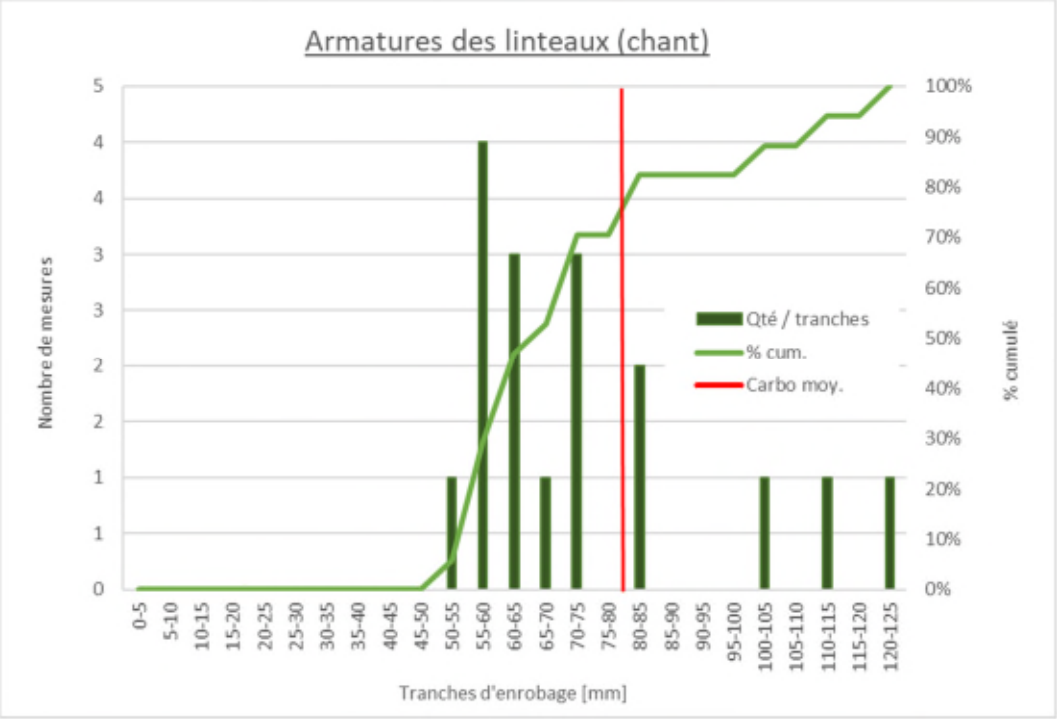
*Par contre, **la carbonatation est fortement développée** (> 50 mm pour toutes mesures réalisées) et intéresse la totalité des aciers détectés. Ainsi, **le risque de corrosion par carbonatation apparaît fort pour les armatures des poutres secondaires.***

4.12.3 Chant des linteaux (parement extérieur)

Les résultats des mesures d'enrobage des armatures sont les suivants :

Type	Nombre d'aciers détectés	Enr min (mm)	Enr max (mm)	Enr moy (mm)	Ecart type (mm)
Armatures * / chant des linteaux	17	50	120	72	20

** Cadres uniquement*



Commentaires :

Pour les linteaux, les enrobages (mesurés sur chant côté extérieur) sont importants du fait de la géométrie des linteaux.

*Néanmoins, **la carbonatation étant fortement développée**, elle intéresse la majorité des aciers détectés. Ainsi, **le risque de corrosion par carbonatation apparaît fort pour les armatures des linteaux.***

5. RESULTATS DES ESSAIS EN LABORATOIRE

Les PV des résultats et des analyses en laboratoire figurent en ***Annexe 3***.

5.1 RESISTANCE A LA COMPRESSION DES BETONS

Les résultats des essais sont récapitulés ci-dessous :

Nom	Diamètre [mm]	Hauteur [mm]	Masse [g]	Elancement	Charge de rupture [kN]	Résistance brute [MPa]
ECM1	74	148	1456	2	69	16,0
ECM2		148	1408		67	15,6
ECM3		74	589	1	34	7,9
ECM4		74	696		48	11,2

Commentaires :

A l'époque de la construction (début du XX^{ème}), les caractéristiques mécaniques des bétons courants (à 90 jours) étaient de l'ordre de 16 MPa à 20 MPa (mesuré sur des prismes de 20 cm de côté), selon le dosage en ciment (source : Guide CEREMA de 2015 : « Conception des réparations structurales et des renforcements des ouvrages d'art Annexe A-4 - Evolution des caractéristiques du matériau béton »).

Ainsi, les résistances obtenues sont faibles mais en corrélation avec les valeurs standard à l'époque pour ECM1 et ECM2.
Pour ECM3 et ECM4, les valeurs plus faibles peuvent s'expliquer par une porosité plus importante (Cf. examen macroscopique).

5.2 ESSAI DE TRACTION SUR METAL

Les résultats de l'essai de traction (NF EN ISO 6892-1) sont récapitulés ci-dessous :

Echantillon	Type	R_m (MPa)	$R_{p0,2}$ (MPa)	A (%)
ECM1	RL Ø 6 mm	393	**291**	34,0

Avec :
R_m : résistance à la traction en MPa
$R_{p0,2}$: limite d'élasticité conventionnelle en MPa
A : allongement en %

Eu égard à la géométrie des éléments ECM2 et ECM4, les essais de traction « standard » n'ont pas pu être effectués (impossibilité d'usinage d'éprouvettes). Ils ont donc été remplacés par des essais de dureté Vickers (norme NF EN ISO 6507-1 : Octobre 2023). Les résultats des essais de dureté sont récapitulés ci-dessous :

Echantillon	Type	Dureté moyenne	$Rm_{converti}$ (MPa)
ECM2	Cadre plat 2 mm x 30 mm	158	504
ECM4	Cadre plat 2 mm x 30 mm	167	536

Commentaires :

Concernant l'acier Rond Lisse ECM1, il a vraisemblablement été prélevé sur un élément postérieur à la construction originelle du bâtiment (les cadres utilisés à l'époque étant des éléments plats – dito ECM2 et ECM4). Au regard des résultats des essais, l'acier présente des propriétés proches des aciers Ronds lisses produits au début du XX^{ème} (acier Rond lisse de classe Ac 42 avec une limite d'élasticité de 240 MPa).

Pour les essais de dureté, les valeurs de résistance estimées sont surévaluées. Ceci est dû au fait que ce type d'essai (dureté Vickers) ne permet de prendre en compte la quantité/concentration d'impuretés dans le métal testé, cette dernière influençant la résistance globale du métal. A titre indicatif, à l'époque de la construction (début du XXème), la limite d'élasticité des aciers était de l'ordre de 130-140 MPa (source : n°367 de la revue Béton Armé de septembre 1938 présentant une étude comparative de la méthode Hennebique et de la circulaire ministérielle).

5.3 EXAMEN MACROSCOPIQUE

Les principales observations des observations macroscopiques figurent dans les tableaux en pages suivantes (hors revêtements de surface).

Echantillon	Elément	Classe granulaire	Observations
ECM1	Poteau	0/16 mm	Quartz, feldspath/briques Fragments coquillers Macropores de 1-2 mm à 5 mm
ECM2	Poutre principale	0/35 mm	Quartz, feldspath/briques Fragments coquillers Macropores de 1 mm à 5 mm
ECM3	Dalle haute	0/16 mm	Fragments coquillers et de roche Macropores de 1 mm à 5 mm Lacunes de liant
ECM4	Poteau	0/10 mm	Charge grossière et de nature variée Fragments coquillers et de roche Macropores de 1 mm à 5 mm Lacunes de liant
PC1	Linteau	0/25 mm	Charge grossière et de nature variée Macroporosité abondante Fragments coquillers et de roche Lacunes de liant
PC2	Linteau	0/25 mm	Charge grossière et de nature variée Macroporosité abondante Fragments coquillers et de roche Lacunes de liant
PC3	Dalle haute	0/20 mm	Charge grossière et de nature variée Fragments coquillers et de roche Macropores de 1 mm à 5 mm Quelques lacunes de liant
PC4	Linteau	0/28 mm	Charge grossière et de nature variée Fragments coquillers et de roche Macropores de 1 mm à 6 mm Lacunes de liant Traces d'oxydation au cœur de la carotte
PC5	Linteau	0/12 mm	Charge grossière et de nature variée Macroporosité développée Lacunes de liant
PC6	Dalle haute	0/15 mm	Charge grossière et de nature variée Fragments coquillers et de roche Macroporosité très développée Lacunes de liant
PC7	Dalle haute	0/15 mm	Charge grossière et de nature variée Fragments coquillers et de roche Macropores de 1 mm à 5 mm

Echantillon	Elément	Classe granulaire	Observations
PC8	Dalle haute	0/20 mm	Charge grossière et de nature variée Fragments coquillers et de roche Quelques macropores de 1 mm
CA1	Linteau	0/25 mm	Charge grossière et de nature variée Fragments coquillers et de roche Macropores < 3 mm Quelques lacunes de liant
CA2	Poteau	0/15 mm	Charge grossière Fragments coquillers et de roche Macroporosité répartie et homogène de 1 mm à 5 mm Quelques lacunes de liant et traces d'oxydation en surface
CA3	Dalle haute	0/30 mm	Charge grossière Fragments coquillers et de roche
CA5	Dalle haute	0/35 mm	Charge grossière Fragments coquillers et de roche Macroporosité jusqu'à 5 mm
CA6	Dalle haute	0/20 mm	Charge grossière Fragments coquillers et de roche Macroporosité jusqu'à 5 mm

5.4 MESURE DE LA POROSITE OUVERTE / MASSE VOLUMIQUE APPARENTE

Les résultats des mesures de porosité ouverte de de masse volumique apparente sont récapitulés ci-dessous :

Echantillon	Masse volumique apparente [kg/m³]	Porosité ouverte [%]
PC1	2300	11,6
PC2	2330	10,0
PC3	2310	10,9
PC4	2290	11,5
PC5	2175	16,5
PC6	2260	13,5
PC7	2250	14,1
PC8	2230	14,7

Commentaires :

Pour les échantillons soumis aux essais, les masses volumiques apparentes sont correctes compte tenu de l'époque de construction. A titre indicatif, la norme NF EN 206 mentionne qu'un béton de masse volumique normale présente des valeurs comprises entre 2000 et 2600 kg/m³.

La porosité ouverte (globalement comprises entre 10 % et 15 %) est satisfaisante.

Seule la carotte PC5 signale des valeurs témoignant d'une porosité plus importante.

Ainsi, les bétons formulés à l'époque sont conformes aux standard actuels en terme de propriétés physiques.

5.5 DOSAGES EN CIMENT DES BETONS

Les résultats des estimations des teneurs en ciment sont récapitulés ci-dessous :

Echantillon	Dosages en ciment estimés (si CEM I) [kg/m³]	Dosages en ciment estimés (si CEM II) [kg/m³]
PC1	224	**224**
PC2	347	**309**
PC3	**213**	190
PC4	292	**260**
PC5	108	**96**
PC6	133	**119**
PC7	145	**129**
PC8	96	**85**

NOTA : les valeurs en gras sont les estimations privilégiées au regard des résultats des observations eau MEB (notamment la présence ou non de grains de laitiers).

Commentaires :

La circulaire du 20 octobre 1906 (premier document pour le calcul des constructions en béton armé) fait mention de dosage en ciment de 300, 350 et 400 kg/m³ afin d'obtenir des résistances à la compression à 90 jours de 160 à 200 kg/cm².

On peut constater que les dosages estimés sont fortement variables et régulièrement inférieurs aux valeurs mentionnées dans la circulaire.

Ces faibles dosages peuvent également expliquer, en partie, les résistances à la compression obtenues.

5.6 DOSAGES EN CHLORURES LIBRES, SULFATES ET ALCALINS

Les résultats des estimations des teneurs en ciment sont récapitulés ci-dessous :

Echantillon – Tranches [mm]	Pourcentages massiques ramenés au volume de ciment		Pourcentages massiques ramenés au volume de béton
	Teneur en chlorures libres [%]	Teneur en sulfates [%]	Teneur en alcalins [%]
PC1 0-10 / 30-40 / 70-80	0,90 – 0,93 – 0,27	1,42 – 1,35 – 1,00	0,20 – 0,13 – 0,10
PC2 5-15 / 25-35 / 50-60	1,15 – 1,64 – 0,61	1,84 – 1,39 – 1,08	0,41 – 0,14 – 0,11
PC3 0-10 / 20-30 / 50-60	7,07 – 8,82 – 1,91	3,09 – 2,46 – 1,20	0,36 – 0,31 – 0,29
PC4 0-10 / 30-40 / 50-60	0,56 – 0,39 – 0,41	1,63 – 0,94 – 1,06	0,14 – 0,13 – 0,10
PC5 10-20 / 40-50 / 70-80	0,17 – 0,23 - 0,19	0,71 – 0,95 – 0,92	0,13 – 0,09 – 0,11
PC6 0-10 / 10-20 / 20-30	0,28 - < 0,15 – 0,15	0,77 – 0,70 – 0,66	0,09 – 0,06 – 0,09
PC7 0-10 / 10-20 / 20-30	0,19 – 0,21 – 0,29	12,92 – 0,73 – 0,86	0,12 – 0,10 – 0,11
PC8 0-10 / 10-20 / 20-30	< 0,15 - < 0,15 - < 0,15	2,79 – 3,80 – 1,00	0,06 – 0,08 – 0,11

NOTA : les épaisseurs des tranches soumises aux essais ont été déterminées de la façon suivante :
- *Tranche 1 : tranche de surface,*
- *Tranche 2 : tranche intermédiaire,*
- *Tranche 3 : tranche à la profondeur d'enrobage des armatures.*

Et ceci afin de déceler une éventuelle pollution exogène du béton.

Commentaires :

Concernant les teneurs en chlorures :

- *Il n'exista pas de valeurs normatives quant à la concentration en chlorures libres (ou totaux) pour les ouvrages construits (la norme NF EN 206+A2/CN de novembre 2022 faisant référence à la fabrication de béton),*
- *Les échantillons PC1 et PC4 tendent à signaler une pollution exogène, sans pour autant atteindre à ce jour, à la profondeur d'enrobage des armatures, des concentrations susceptibles d'initier une corrosion,*
- *L'échantillon PC2 signale une pollution par les chlorures pouvant amorcer une corrosion des armatures,*
- *L'échantillon PC3 (pour rappel : prélevé sur une dalle en plancher haut RDC, donc non soumis aux agressions climatiques), fait état de teneurs très élevées. L'ambiance humide et saline de l'aquarium situé au niveau RDC a favorisé la pénétration des ions chlorures mais eu égard aux teneurs mesurées, une pollution endogène ne peut pas être exclue (par exemple : utilisation d'eau de mer lors du gâchage pour accélérer la prise, …),*

- *Des cristallisations d'halite ont été observées pour les échantillons pC1, PC2 et PC3, confortant les concentrations élevées mesurées,*
- *Les échantillons PC5, PC6, PC7 et PC8 ne signalent pas de concentrations susceptibles d'occasionner une corrosion des armatures,*
- *Notons que les bétons sont apparus fortement carbonatés et que la baisse du pH du béton par carbonatation influe sur la concentration critique à partir de laquelle le processus de corrosion peut s'initier.*

Concernant les teneurs en sulfates :

- *Les teneurs en sulfates sont élevées pour 2 tranches en PC7 0-10 mm (présence de plâtre en surface) et PC8 10-20 mm,*
- *Les autres tranches ne mettent pas en évidence de concentration anormalement élevée, confortant les examens au MEB.*

Concernant les teneurs en alcalins :

- *Les teneurs en alcalins sont élevées pour les couches de surface en PC1 et PC2,*
- *L'échantillon PC3 signale des concentrations élevées, quelle que soit la profondeur d'analyse, au même titre que les teneurs en chlorures libres,*
- *Les résultats pour les échantillons PC4 à PC8 mettent en exergue des teneurs négligeables à acceptables,*
- *L'absence de phénomène d'alcali-réaction constatée au MEB sur PC3, malgré les fortes teneurs en alcalins et atmosphère humide en permanence en sous-face de plancher (aquarium), laissent présager que les granulats utilisés ne sont pas réactifs (NR). Un examen pétrographique permettrait de confirmer cette hypothèse.*

5.7 EXAMEN AU MICROSCOPE ELECTRONIQUE A BALAYAGE (MEB)

Les principaux résultats des examens réalisés au Microscope Electronique à Balayage (avec analyses à la sonde EDS pour détection des éléments chimiques) sont présentés ci-après :

Carotte PC1 :

- Charge minérale composée de sable 0/4 mm et de graviers 4/16 mm, de morphologie subanguleuse à arrondie, de nature silicatée (quartz et feldspath),
- Microporosité significative (avec macropores de l'ordre du millimètre),
- Présence de tuileau et de charbon,
- Présence de laitiers,
- Contamination saline (chlore), plus importante sur le 1er centimètre,
- Pas d'alcali-réaction (réaction alcali-granulats : RAG) ni de réaction sulfatique interne (RSI) observée.

Carotte PC2 :

- Charge minérale composée de sable 0/4 mm et de graviers 4/16 mm, de morphologie subanguleuse à arrondie, de nature silicatée (quartz et feldspath),
- Microporosité significative (avec macropores de l'ordre du millimètre),
- Présence de charbon,
- Présence de laitiers,
- Contamination saline (chlore), plus importante en surface,
- Pas de RAG ni de RSI observée.

Carotte PC3 :

- Charge minérale composée de sable 0/4 mm et de graviers 4/16 mm, de morphologie subanguleuse à arrondie, de nature silicatée (quartz et feldspath),
- Microporosité significative (avec macropores jusqu'à 3 millimètres),
- Présence de charbon,
- Absence d'ajouts,
- Contamination saline (chlore), plus importante en surface,
- Pas de RAG ni de RSI observée.

Carotte PC4 :

- Charge minérale composée de sable 0/4 mm et de graviers 4/20 mm, de morphologie subanguleuse à arrondie, de nature silicatée (quartz et feldspath),
- Microporosité significative (avec macropores de l'ordre du millimètre),
- Présence de charbon,
- Présence de laitiers,
- Pas de contamination saline (chlore),
- Pas de RAG ni de RSI observée.

Carotte PC5 :

- Charge minérale composée de sable 0/4 mm et de graviers 4/10 mm, de morphologie subanguleuse à arrondie, de nature silicatée (quartz et feldspath),
- Microporosité significative (avec macropores de l'ordre du millimètre),
- Présence de charbon,
- Présence de laitiers,
- Contamination saline (chlore), plus importante en surface,
- Pas de RAG ni de RSI observée.

Carotte PC6 :

- Charge minérale composée de sable 0/4 mm et de graviers 4/16 mm, de morphologie subanguleuse à arrondie, de nature silicatée (quartz et feldspath),
- Microporosité significative (avec macropores de l'ordre du millimètre),
- Présence de charbon,
- Présence de laitiers,
- Contamination saline (chlore),
- Pas de RAG ni de RSI observée.

Carotte PC7 :

- Charge minérale composée de sable 0/4 mm et de graviers 4/10 mm, de morphologie subanguleuse à arrondie, de nature silicatée (quartz et feldspath),
- Microporosité significative (avec macropores de l'ordre du millimètre),
- Présence de charbon,
- Présence de laitiers,
- Contamination saline (chlore),
- Pas de RAG ni de RSI observée.

Carotte PC8 :

- Charge minérale composée de sable 0/4 mm et de graviers 4/16 mm, de morphologie subanguleuse à arrondie, de nature silicatée (quartz et feldspath),
- Microporosité significative (avec macropores de l'ordre du millimètre),
- Présence de charbon et de tuileau,
- Présence de laitiers,
- Contamination saline en profondeur (chlore),
- Pas de RAG ni de RSI observée.

Commentaires :

Pour les échantillons analysés, la nature de la charge est globalement identique (granulométrie, nature), une microporosité est présente avec également des macropores sur tous les échantillons. Les mesures de porosité ouverte de masse volumique apparente ne dénotent toutefois pas de valeurs anormalement basses.

Hormis la carotte PC3, les matrices cimentaires contiennent des grains de laitier. Selon un article de la Revue de Métallurgie d'avril 1961 : « En France, les premiers ciments au laitier ne figurent dans les cahiers des charges relatifs aux ciments pouzzolaniques qu'à partir de 1928. Ils apparaissent dans les normes seulement en 1934. Cependant, environ 150000 tonnes de laitier granulé furent consommées dans nos cimenteries lors de la construction du métropolitain dès 1900-1901 ». Ainsi, les avantages des ciments au

laitier (résistance accrue, perméabilité réduite, meilleure résistance aux agressions chimiques) étaient connus et ce dernier était déjà mis en œuvre.

L'utilisation de charbon broyé et de tuileau confère des propriétés hydrauliques au ciment et améliore la prise et le durcissement.

Une pollution par des chlorures est constatée hormis pour les carottes PC4 et PC8 (en surface). L'échantillon PC4 présente bien des chlorures libres (Cf. § 5.6) alors que les teneurs pour PC8 sont effectivement négligeables.

Aucune pathologie de type alcali-réaction ou réaction sulfatique n'a été détectée lors des examens.

GÉOTEC
ENSEMBLE, CONCEVONS UN AVENIR DURABLE

CONDITIONS GENERALES

1. **Avertissement, préambule**
Toute commande et ses avenants éventuels impliquent de la part du cocontractant, ci-après dénommé « le Client », signataire du contrat et des avenants, acceptation sans réserve des présentes conditions générales.
Les présentes conditions générales prévalent sur toutes autres, sauf conditions particulières contenues dans le devis ou dérogation formelle et explicite. Toute modification de la commande ne peut être considérée comme acceptée qu'après accord écrit du Prestataire.

2. **Déclarations obligatoires à la charge du Client, (DT, DICT, ouvrages exécutés)**
Dans tous les cas, la responsabilité du Prestataire ne saurait être engagée en cas de dommages à des ouvrages publics ou privés (en particulier, ouvrages enterrés et canalisations) dont la présence et l'emplacement précis ne lui auraient pas été signalés par écrit préalablement à sa mission.
Conformément au décret n° 2011-1241 du 5 octobre 2011 relatif à l'exécution de travaux à proximité de certains ouvrages souterrains, aériens ou subaquatiques de transport ou de distribution, le Client doit fournir, à sa charge et sous sa responsabilité, l'implantation des réseaux privés, la liste et l'adresse des exploitants des réseaux publics à proximité des travaux, les plans, informations et résultats des investigations complémentaires consécutifs à sa Déclaration de projet de Travaux (DT). Ces informations sont indispensables pour permettre les éventuelles DICT (le délai de réponse est de 15 jours) et pour connaitre l'environnement du projet. En cas d'incertitude ou de complexité pour la localisation des réseaux sur domaine public, il pourra être nécessaire de faire réaliser, à la charge du Client, des fouilles manuelles pour les repérer. Les conséquences et la responsabilité de toute détérioration de ces réseaux par suite d'une mauvaise communication sont à la charge exclusive du Client.
Conformément à l'art L 411-1 du code minier, le Client s'engage à déclarer à la DREAL tout forage réalisé de plus de 10 m de profondeur. De même, conformément à l'article R 214-1 du code de l'environnement, le Client s'engage à déclarer auprès de la DDT du lieu des travaux les sondages et forages destinés à la recherche, à la surveillance ou au prélèvement d'eaux souterraines (piézomètres notamment).

3. **Cadre de la mission, objet et nature des prestations, prestations exclues, limites de la mission**
Le terme « prestation » désigne exclusivement les prestations énumérées dans le devis du Prestataire. Toute prestation différente de celles prévues fera l'objet d'un prix nouveau à négocier. Il est entendu que le Prestataire s'engage à procéder selon les moyens actuels de son art, à des recherches consciencieuses et à fournir les indications qu'on peut en attendre. Son obligation est une obligation de moyen et non de résultat au sens de la jurisprudence actuelle des tribunaux.
Le Prestataire réalise la mission dans les strictes limites de sa définition donnée dans son offre (validité limitée à trois mois à compter de la date de son établissement), confirmée par le bon de commande ou un contrat signé du Client.
La mission et les investigations éventuelles sont strictement géotechniques et n'abordent pas le contexte environnemental. Seule une étude environnementale spécifique comprenant des investigations adaptées permettra de détecter une éventuelle contamination des sols et/ou des eaux souterraines.
Le Prestataire n'est solidaire d'aucun autre intervenant sauf si la solidarité est explicitement convenue dans le devis ; dans ce cas, la solidarité ne s'exerce que sur la durée de la mission.
Par référence à la norme NF P 94-500, il appartient au maître d'ouvrage, au maître d'œuvre ou à toute entreprise de faire réaliser impérativement par des ingénieries compétentes chacune des missions géotechniques (successivement G1, G2, G3 et G4 et les investigations associées) pour suivre toutes les étapes d'élaboration et d'exécution du projet. Si la mission d'investigations est commandée seule, elle est limitée à l'exécution matérielle de sondages et à l'établissement d'un compte rendu factuel sans interprétation et elle exclut toute activité d'étude ou de conseil. La mission de diagnostic géotechnique G5 engage le géotechnicien uniquement dans le cadre strict des objectifs ponctuels fixés et acceptés.
Si le Prestataire déclare être titulaire de la certification ISO 9001, le Client agit de telle sorte que le Prestataire puisse respecter les dispositions de son système qualité dans la réalisation de sa mission.

4. **Plans et documents contractuels**
Le Prestataire réalise la mission conformément à la réglementation en vigueur lors de son offre, sur la base des données communiquées par le Client. Le Client est seul responsable de l'exactitude de ces données. En cas d'absence de transmission ou d'erreur sur ces données, le Prestataire est exonéré de toute responsabilité.

5. **Limites d'engagement sur les délais**
Sauf indication contraire précise, les estimations de délais d'intervention et d'exécution données aux termes du devis ne sauraient engager le Prestataire. Sauf stipulation contraire, il ne sera pas appliqué de pénalités de retard et si tel devait être le cas elles seraient plafonnées à 5% de la commande. En toute hypothèse, la responsabilité du Prestataire est dégagée de plein droit en cas d'insuffisance des informations fournies par le Client ou si le Client n'a pas respecté ses obligations, en cas de force majeure ou d'événements imprévisibles (notamment la rencontre de sols inattendus, la survenance de circonstances naturelles exceptionnelles) et de manière générale en cas d'événement extérieur au Prestataire modifiant les conditions d'exécution des prestations objet de la commande ou les rendant impossibles.
Le Prestataire n'est pas responsable des délais de fabrication ou d'approvisionnement de fournitures lorsqu'elles font l'objet d'un contrat de négoce passé par le Client ou le Prestataire avec un autre Prestataire.

6. **Formalités, autorisations et obligations d'information, accès, dégâts aux ouvrages et cultures**
Toutes les démarches et formalités administratives ou autres, en particulier l'obtention de l'autorisation de pénétrer sur les lieux pour effectuer des prestations de la mission sont à la charge du Client. Le Client se charge d'une part d'obtenir et communiquer les autorisations requises pour l'accès du personnel et des matériels nécessaires au Prestataire en toute sécurité dans l'enceinte des propriétés privées ou sur le domaine public, d'autre part de fournir tous les documents relatifs aux dangers et aux risques cachés, notamment ceux liés aux réseaux, aux obstacles enterrés et à la pollution des sols et des nappes. Le Client s'engage à communiquer les règles pratiques que les intervenants doivent respecter en matière de santé, sécurité et respect de l'environnement : il assure en tant que de besoin la formation du personnel, notamment celui du Prestataire, entrant dans ces domaines, préalablement à l'exécution de la mission. Le Client sera tenu responsable de tout dommage corporel, matériel ou immatériel dû à une spécificité du site connue de lui et non clairement indiquée au Prestataire avant toutes interventions.
Sauf spécifications particulières, les travaux permettant l'accessibilité aux points de sondages ou d'essais et l'aménagement des plates-formes ou grutage nécessaires aux matériels utilisés sont à la charge du Client.
Les investigations peuvent entraîner d'inévitables dommages sur le site, en particulier sur la végétation, les cultures et les ouvrages existants, sans qu'il y ait négligence ou faute de la part de son exécutant. Les remises en état, réparations ou indemnisations correspondantes sont à la charge du Client.

7. **Implantation, nivellement des sondages**
Au cas où l'implantation des sondages est imposée par le Client ou son conseil, le Prestataire est exonéré de toute responsabilité dans les événements consécutifs à ladite implantation. La mission ne comprend pas les implantations topographiques permettant de définir l'emprise des ouvrages et zones à étudier ni la mesure des coordonnées précises des points de sondages ou d'essais. Les éventuelles altitudes indiquées pour chaque sondage (qu'il s'agisse de cotes de références rattachées à un repère arbitraire ou de cotes NGF) ne sont données qu'à titre indicatif. Seules font foi les profondeurs mesurées depuis le sommet des sondages et comptées à partir du niveau du sol au moment de la réalisation des essais. Pour que ces altitudes soient garanties, il convient qu'elles soient relevées par un Géomètre Expert avant remodelage du terrain. Il en va de même pour l'implantation des sondages sur le terrain.

8. **Hydrogéologie**
Les niveaux d'eau indiqués dans le rapport correspondent uniquement aux niveaux relevés au droit des sondages exécutés et à un moment précis. En dépit de la qualité de l'étude les aléas suivants subsistent, notamment la variation des niveaux d'eau en relation avec la météo ou une modification de l'environnement des études. Seule une étude hydrogéologique spécifique permet de déterminer les amplitudes de variation de ces niveaux, les cotes de crue et les PHEC (Plus Hautes Eaux Connues).

9. **Recommandations, aléas, écart entre prévision de l'étude et réalité en cours de travaux**
Si, en l'absence de plans précis des ouvrages projetés, le Prestataire a été amené à faire une ou des hypothèses sur le projet, il appartient au Client de lui communiquer par écrit ses observations éventuelles sans quoi, il ne pourrait en aucun cas et pour quelque raison que ce soit lui être reproché d'avoir établi son étude dans ces conditions.
L'étude géotechnique s'appuie sur les renseignements reçus concernant le projet, sur un nombre limité de sondages et d'essais, et sur des profondeurs d'investigations limitées qui ne permettent pas de lever toutes les incertitudes inéluctables à cette science naturelle. En dépit de la qualité de l'étude, des incertitudes subsistent du fait notamment du caractère ponctuel des investigations, de la variation d'épaisseur des remblais et/ou des différentes couches, de la présence de vestiges enterrés. Les conclusions géotechniques ne peuvent donc conduire à traiter à forfait le prix des fondations compte tenu d'une hétérogénéité, naturelle ou du fait de l'homme, toujours possible et des aléas d'exécution pouvant survenir lors de la découverte des terrains. Si un caractère évolutif particulier a été mis en lumière (notamment glissement, érosion, dissolution, remblais évolutifs, tourbe), l'application des recommandations du rapport nécessite une actualisation à chaque étape du projet notamment s'il s'écoule un laps de temps important avant l'étape suivante.
L'estimation des quantités des ouvrages géotechniques nécessite, une mission d'étude géotechnique de conception G2 (phase projet). Les éléments géotechniques non décelés par l'étude et mis en évidence lors de l'exécution (pouvant avoir une incidence sur les conclusions du rapport) et les incidents importants survenus au cours des travaux (notamment glissement, dommages aux avoisinants ou aux existants) doivent obligatoirement être portés à la connaissance du Prestataire ou signalés aux géotechniciens chargés des missions de suivi géotechnique d'exécution G3 et de supervision géotechnique d'exécution G4, afin que les conséquences sur la conception géotechnique et les conditions d'exécution soient analysées par un homme de l'art.

10. **Rapport de mission, réception des travaux, fin de mission, délais de validation des documents par le client**
A défaut de clauses spécifiques contractuelles, la remise du dernier document à fournir dans le cadre de la mission fixe le terme de la mission. La date de la fin de mission est celle de l'approbation par le Client du dernier document à fournir dans le cadre de la mission. L'approbation doit intervenir au plus tard deux semaines après sa remise au Client, et est considérée implicite en cas de silence. La fin de la mission donne lieu au paiement du solde de la mission.

11. **Réserve de propriété, confidentialité, propriété des études, diagrammes**
Les coupes de sondages, plans et documents établis par les soins du Prestataire dans le cadre de sa mission ne peuvent être utilisés, publiés ou reproduits par des tiers sans son autorisation. Le Client ne devient propriétaire des prestations réalisées par le Prestataire qu'après règlement intégral des sommes dues. Le Client ne peut pas les utiliser pour d'autres ouvrages sans accord écrit préalable du Prestataire. Le Client s'engage à maintenir confidentielle et à ne pas utiliser pour son propre compte ou celui de tiers toute information se rapportant au savoir-faire du Prestataire, qu'il soit breveté ou non, portée à sa connaissance au cours de la mission et qui n'est pas dans le domaine public, sauf accord préalable écrit du Prestataire. Si dans le cadre de sa mission, le Prestataire mettait au point une nouvelle technique, celle-ci serait sa propriété. Le Prestataire serait libre de déposer tout brevet s'y rapportant, le Client bénéficiant, dans ce cas, d'une licence non exclusive et non cessible, à titre gratuit et pour le seul ouvrage étudié.

12. **Modifications du contenu de la mission en cours de réalisation**
La nature des prestations et des moyens à mettre en œuvre, les prévisions des avancements et délais, ainsi que les prix sont déterminés en fonction des éléments communiqués par le client et ceux recueillis lors de l'établissement de l'offre. Des conditions imprévisibles par le Prestataire au moment de l'établissement de son offre touchant à la géologie, aux hypothèses de travail, au projet et à son environnement, à la législation et aux règlements, à des événements imprévus, survenant en cours de mission autorisent le Prestataire à proposer au Client un avenant avec notamment modification des prix et des délais. A défaut d'un accord écrit du Client dans un délai de deux semaines à compter de la réception de la lettre d'adaptation de la mission. Le Prestataire est en droit de suspendre immédiatement l'exécution de sa mission, les prestations réalisées à cette date étant rémunérées intégralement, et sans que le Client ne puisse faire état d'un préjudice. Dans l'hypothèse où le Prestataire est dans l'impossibilité de réaliser les prestations prévues pour une cause qui ne lui est pas imputable, le temps d'immobilisation de ses équipes est rémunéré par le client.

13. **Modifications du projet après fin de mission, délai de validité du rapport**
Le rapport constitue une synthèse de la mission définie par la commande. Le rapport et ses annexes forment un ensemble indissociable. Toute interprétation, reproduction partielle ou utilisation par un autre maître de l'ouvrage, un autre constructeur ou maître d'œuvre, ou pour un projet différent de celui objet de la mission, ne saurait engager la responsabilité du Prestataire et pourra entraîner des poursuites judiciaires. La responsabilité du Prestataire ne saurait être engagée en dehors du cadre de la mission objet du rapport. Toute modification apportée au projet et à son environnement ou tout élément nouveau mis à jour au cours des travaux et non détecté lors de la mission d'origine, nécessite une adaptation du rapport initial dans le cadre d'une nouvelle mission.
Le client doit faire actualiser le dernier rapport de mission en cas d'ouverture du chantier plus de 1 an après sa livraison. Il en est de même notamment en cas de travaux de terrassements, de démolition ou de réhabilitation du site (à la suite d'une contamination des terrains et/ou de la nappe) modifiant entre autres les qualités mécaniques, les dispositions constructives et/ou la répartition de tout ou partie des sols sur les emprises concernées par l'étude géotechnique.

14. **Conditions d'établissement des prix, variation dans les prix, conditions de paiement, acompte et provision, retenue de garantie**
Les prix unitaires s'entendent hors taxes. Ils sont majorés de la T.V.A. au taux en vigueur le jour de la facturation. Ils sont établis aux conditions économiques en vigueur à la date d'établissement de l'offre. Ils sont fermes et définitifs pour une durée de trois mois. Au-delà, ils sont actualisés par application de l'indice "Sondages et Forages TP 04" pour les investigations in situ et en laboratoire, et par application de l'indice « SYNTEC » pour les prestations d'études, l'Indice de base étant celui du mois de l'établissement du devis.
Aucune retenue de garantie n'est appliquée sur le coût de la mission.
Dans le cas où le marché nécessite une intervention d'une durée supérieure à un mois, des factures mensuelles intermédiaires sont établies. Lors de la passation de la commande ou de la signature du contrat, le Prestataire peut exiger un acompte dont le montant est défini dans les conditions particulières et correspond à un pourcentage du total estimé des honoraires et frais correspondants à l'exécution du contrat. Le montant de cet acompte est déduit de la facture ou du décompte final. En cas de sous-traitance dans le cadre d'un ouvrage public, les factures du Prestataire sont réglées directement et intégralement par le maître d'ouvrage, conformément à la loi n°75-1334 du 31/12/1975.
Les paiements interviennent à réception de la facture et sans escompte. En l'absence de paiement au plus tard le jour suivant la date de règlement figurant sur la facture, il sera appliqué à compter dudit jour et de plein droit, un intérêt de retard égal au taux d'intérêt appliqué par la Banque Centrale Européenne à son opération de refinancement la plus récente majorée de 10 points de pourcentage. Cette pénalité de retard sera exigible sans qu'un rappel soit nécessaire à compter du jour suivant la date de règlement figurant sur la facture.
En sus de ces pénalités de retard, le Client sera redevable de plein droit des frais de recouvrement exposés ou d'une indemnité forfaitaire de 40 €.
Un désaccord quelconque ne saurait constituer un motif de non-paiement des prestations de la mission réalisées antérieurement. La compensation est formellement exclue : le Client s'interdit de déduire le montant des préjudices qu'il allègue des honoraires dus.

15. **Résiliation anticipée**
Toute procédure de résiliation est obligatoirement précédée d'une tentative de conciliation. En cas de force majeure, cas fortuit ou de circonstances indépendantes du Prestataire, celui-ci a la faculté de résilier son contrat sous réserve d'en informer son Client par lettre recommandée avec accusé de réception. En toute hypothèse, en cas d'inexécution par l'une ou l'autre des parties de ses obligations, et 8 jours après la mise en demeure visant la présente clause résolutoire demeurée sans effet, le contrat peut être résilié de plein droit. La résiliation du contrat implique le paiement de l'ensemble des prestations régulièrement exécutées par le Prestataire au jour de la résiliation et en sus, d'une indemnité égale à 20 % des honoraires qui resteraient à percevoir si la mission avait été menée jusqu'à son terme.

16. **Répartition des risques, responsabilités et assurances**
Le Prestataire n'est pas tenu d'avertir son Client sur les risques encourus déjà connus ou ne pouvant être ignorés du Client compte tenu de sa compétence. Ainsi par exemple, l'attention du Client est attirée sur le fait que le béton armé est inévitablement fissuré, les revêtements appliqués sur ce matériau devant avoir une souplesse suffisante pour s'adapter sans dommage aux variations d'ouverture des fissures. Le devoir de conseil du Prestataire vis-à-vis du Client ne s'exerce que dans les domaines de compétence requis pour l'exécution de la mission spécifiquement confiée. Tout élément nouveau connu du Client après la fin de la mission doit être communiqué au Prestataire qui pourra, le cas échéant, proposer la réalisation d'une mission complémentaire. A défaut de communication des éléments nouveaux ou d'acceptation de la mission complémentaire, le Client en assumera toutes les conséquences. En aucun cas, le Prestataire ne sera tenu pour responsable des conséquences d'un non-respect de ses préconisations ou d'une modification de celles-ci par le Client pour quelque raison que ce soit. L'attention du Client est attirée sur le fait que toute estimation de quantités faite à partir de données obtenues par prélèvements ou essais ponctuels sur le site objet des prestations est entachée d'une incertitude fonction de la représentativité de ces données ponctuelles extrapolées à l'ensemble du site. Toutes les pénalités et indemnités qui sont prévues au contrat ou dans l'offre remise par le Prestataire ont la nature de dommages et intérêts forfaitaires, libératoires et exclusifs de toute autre sanction ou indemnisation.
Assurance décennale obligatoire
Le Prestataire bénéficie d'un contrat d'assurance au titre de la responsabilité décennale afférente aux ouvrages soumis à obligation d'assurance, conformément à l'article L.241-1 du Code des assurances. Conformément aux usages et aux capacités du marché de l'assurance et de la réassurance, le contrat impose une obligation de déclaration préalable et d'adaptation de la garantie pour les ouvrages dont la valeur HT (travaux et honoraires compris) excède au jour de la déclaration d'ouverture de chantier un montant de 15 M€. Il est expressément convenu que le client a l'obligation d'informer le Prestataire d'un éventuel dépassement de ce seuil, et accepte, de fournir tous éléments d'information nécessaires à l'adaptation de la garantie. Le client prend également l'engagement, de souscrire à ses frais un Contrat Collectif de Responsabilité Décennale (CCRD), contrat dans lequel le Prestataire sera expressément mentionné parmi les bénéficiaires. Par ailleurs, les ouvrages de caractère exceptionnel, voir inusuels sont exclus du présent contrat et doivent faire l'objet d'une cotation particulière. Le prix fixé dans l'offre ayant été déterminé en fonction de conditions normales d'assurabilité de la mission, il sera réajusté, et le client s'engage à l'accepter, en cas d'éventuelle sur-cotisation qui serait demandée au Prestataire par rapport aux conditions de base de son contrat d'assurance. A défaut de respecter ces engagements, le client en supportera les conséquences financières (notamment en cas de défaut de garantie du Prestataire, qui n'aurait pu s'assurer dans de bonnes conditions, faute d'informations suffisantes). Le maitre d'ouvrage est tenu d'informer le Prestataire de la DOC (déclaration d'ouverture de chantier).
Ouvrages non soumis à l'obligation d'assurance
Les ouvrages dont la valeur HT (travaux et honoraires compris) excède un montant de 15 M€ HT doivent faire l'objet d'une déclaration auprès du Prestataire qui en référera à son assureur pour détermination des conditions d'assurance. Les limitations relatives au montant des chantiers auxquels le Prestataire participe ne sont pas applicables aux missions portant sur des ouvrages d'infrastructure linéaire, c'est-à-dire routes, voies ferrées, tramway, etc. En revanche, elles demeurent applicables lorsque sur le tracé linéaire, la/les mission(s) de l'assuré porte(nt) sur des ouvrages précis tels que ponts, viaducs, échangeurs, tunnels, tranchées couvertes... En tout état de cause, il appartiendra au client de prendre en charge toute éventuelle sur cotisation qui serait demandée au prestataire par rapport aux conditions de base de son contrat d'assurance. Toutes les conséquences financières d'une déclaration insuffisante quant au coût de l'ouvrage seront supportées par le client et le maître d'ouvrage.
Le Prestataire assume les responsabilités qu'il engage par l'exécution de sa mission telle que décrite au présent contrat. A ce titre, il est responsable de ses prestations dont la défectuosité lui est imputable. Le Prestataire sera garanti en totalité par le Client contre les conséquences de toute recherche en responsabilité dont il serait l'objet du fait de ses prestations, de la part de tiers au présent contrat, le client ne garantissant cependant le Prestataire qu'au-delà du montant de responsabilité visé ci-dessous pour le cas des prestations défectueuses. La responsabilité globale et cumulée du Prestataire au titre ou à l'occasion de l'exécution du contrat sera limitée à trois fois le montant de ses honoraires sans pour autant excéder les garanties délivrées par son assureur, et ce pour les dommages de quelque nature que ce soit et quel qu'en soit le fondement juridique. Il est expressément convenu que le Prestataire ne sera pas responsable des dommages immatériels consécutifs ou non à un dommage matériel tels que, notamment, la perte d'exploitation, la perte de production, le manque à gagner, la perte de profit, la perte de contrat, la perte d'image, l'immobilisation de personnel ou d'équipements.

17. **Cessibilité de contrat**
Le Client reste redevable du paiement de la facture sans pouvoir opposer à quelque titre que ce soit la cession du contrat, la réalisation pour le compte d'autrui, l'existence d'une promesse de porte-fort ou encore l'existence d'une stipulation pour autrui.

18. **Litiges**
En cas de litige pouvant survenir dans l'application du contrat, seul le droit français est applicable. Seules les juridictions du ressort du siège social du Prestataire sont compétentes, même en cas de demande incidente ou d'appel en garantie ou de pluralité de défendeurs.

ANNEXES

ANNEXE 1 : Plans d'implantation des sondages

ANNEXE 2 : Plans et coupes des sondages

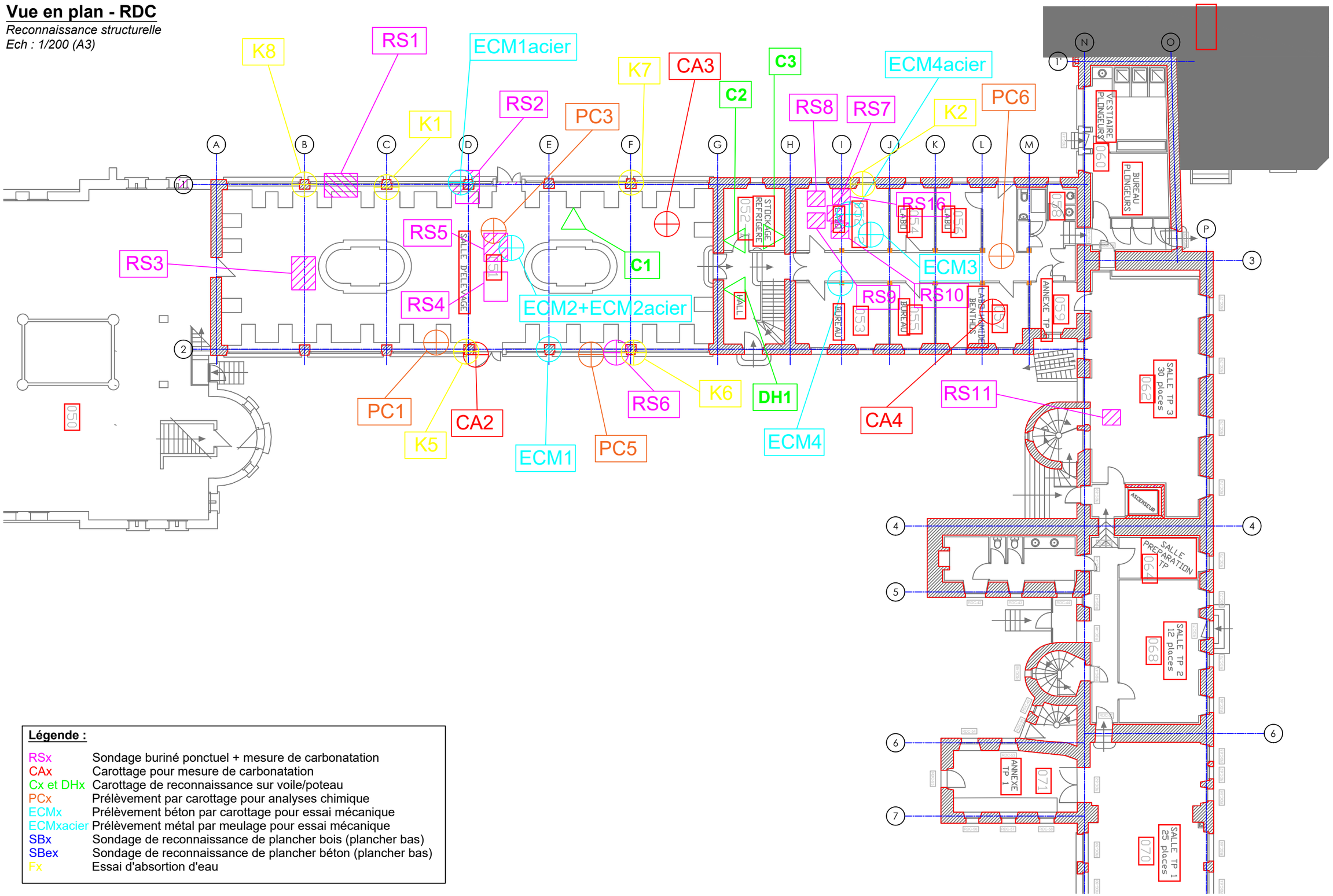
ANNEXE 3 : PV des résultats des essais en laboratoire

GÉOTEC
ENSEMBLE, CONCEVONS UN AVENIR DURABLE

Annexe 1 : Plans d'implantation des sondages

Vue en plan - RDC

Reconnaissance structurelle
Ech : 1/200 (A3)



Légende :

RSx	Sondage buriné ponctuel + mesure de carbonatation
CAx	Carottage pour mesure de carbonatation
Cx et DHx	Carottage de reconnaissance sur voile/poteau
PCx	Prélèvement par carottage pour analyses chimique
ECMx	Prélèvement béton par carottage pour essai mécanique
ECMxacier	Prélèvement métal par meulage pour essai mécanique
SBx	Sondage de reconnaissance de plancher bois (plancher bas)
SBex	Sondage de reconnaissance de plancher béton (plancher bas)
Fx	Essai d'absortion d'eau

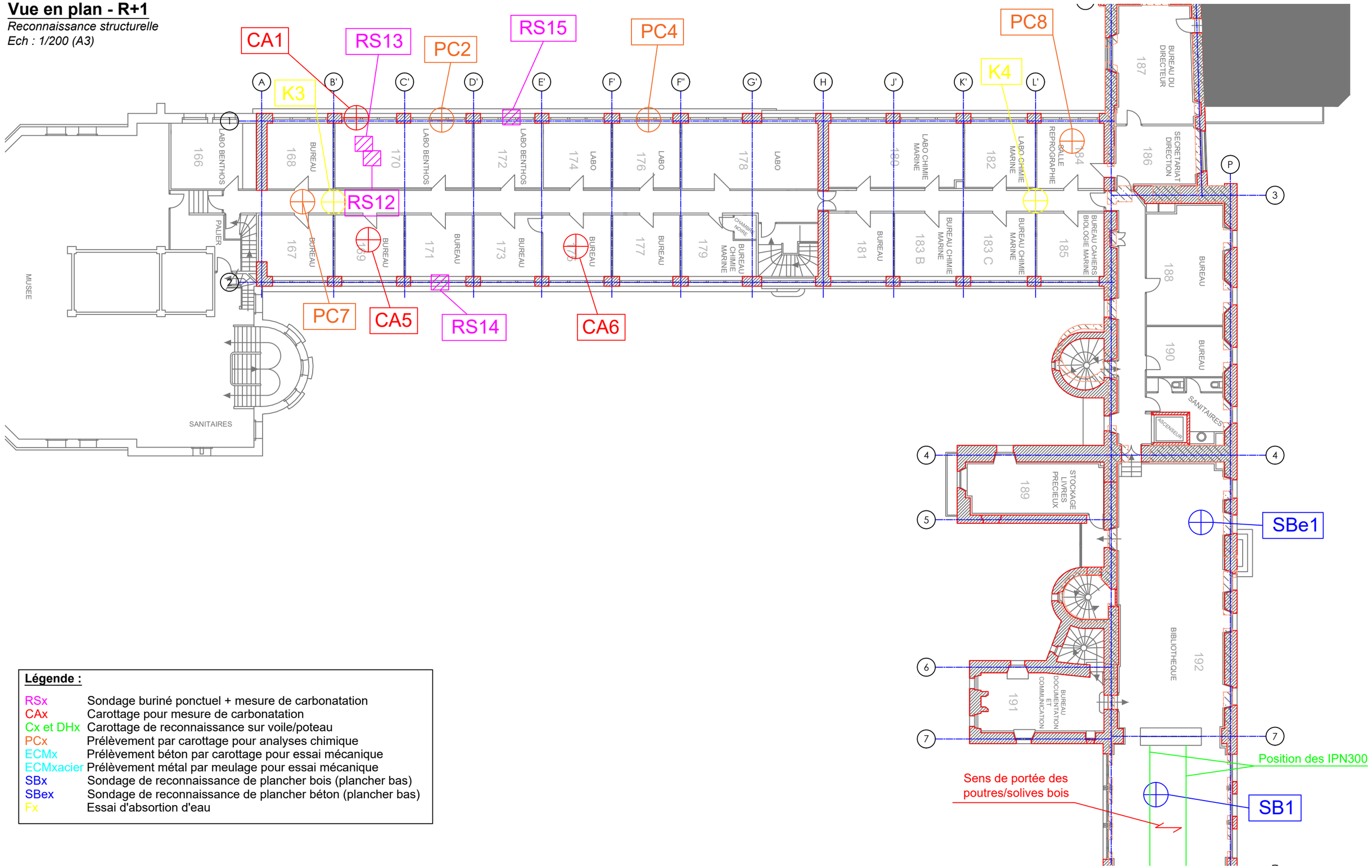
GÉOTEC
ENSEMBLE, CONCEVONS UN AVENIR DURABLE

Dessiné par : R.POMMIER	Le : 20/03/2025	Indice: 0	Annexe 1
Vérifié par : F. GAUTIER	Dossier n° 2024/11615/NANTS		Page : 1/4

RECONNAISSANCE STRUCTURELLE
STATION BIOLOGIQUE
ROSCOFF

Vue en plan - R+1

Reconnaissance structurelle
Ech : 1/200 (A3)



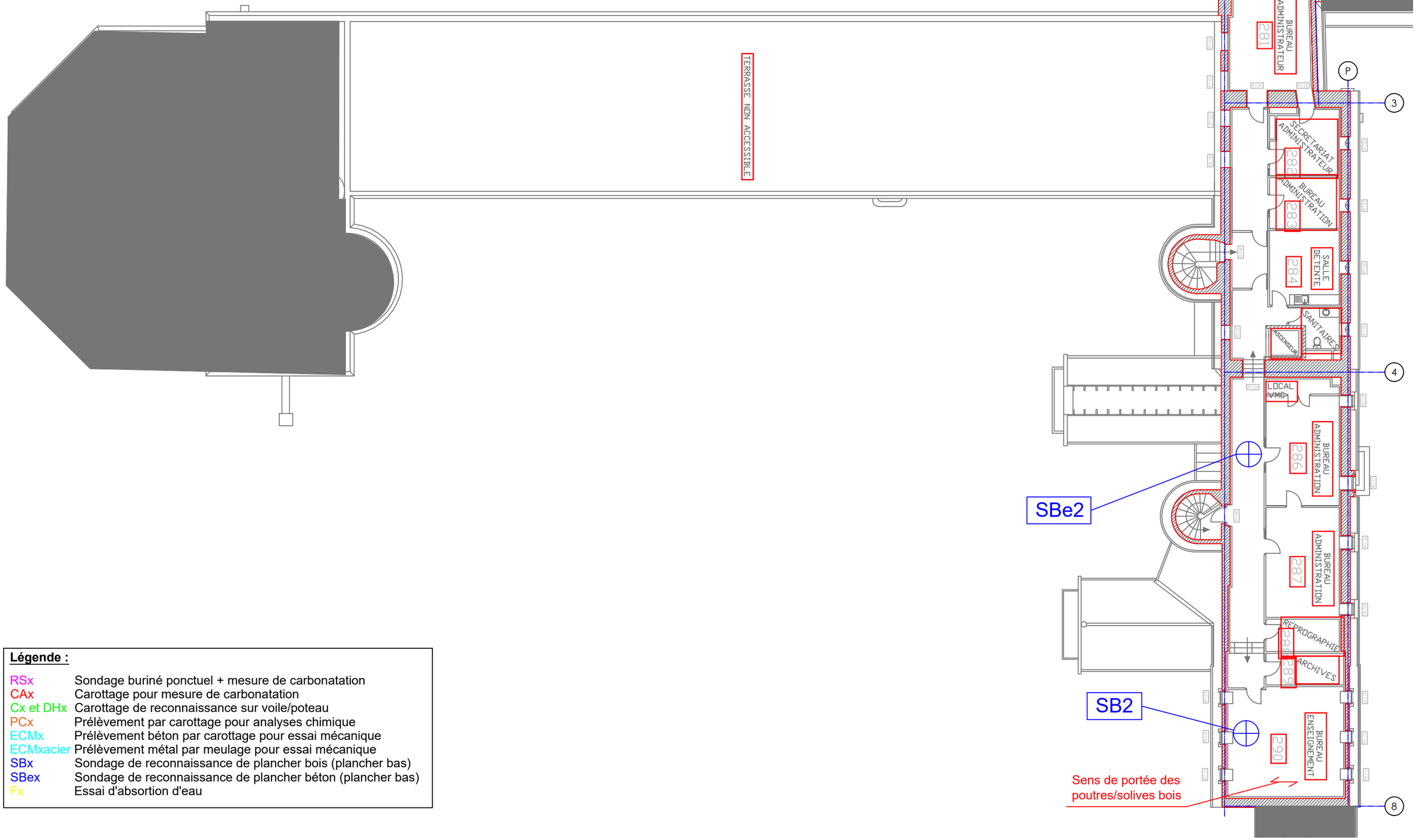
Légende :

RSx	Sondage buriné ponctuel + mesure de carbonatation
CAx	Carottage pour mesure de carbonatation
Cx et DHx	Carottage de reconnaissance sur voile/poteau
PCx	Prélèvement par carottage pour analyses chimique
ECMx	Prélèvement béton par carottage pour essai mécanique
ECMxacier	Prélèvement métal par meulage pour essai mécanique
SBx	Sondage de reconnaissance de plancher bois (plancher bas)
SBex	Sondage de reconnaissance de plancher béton (plancher bas)
Fx	Essai d'absortion d'eau

Vue en plan - R+2

Reconnaissance structurelle

Ech : 1/200 (A3)



Légende :

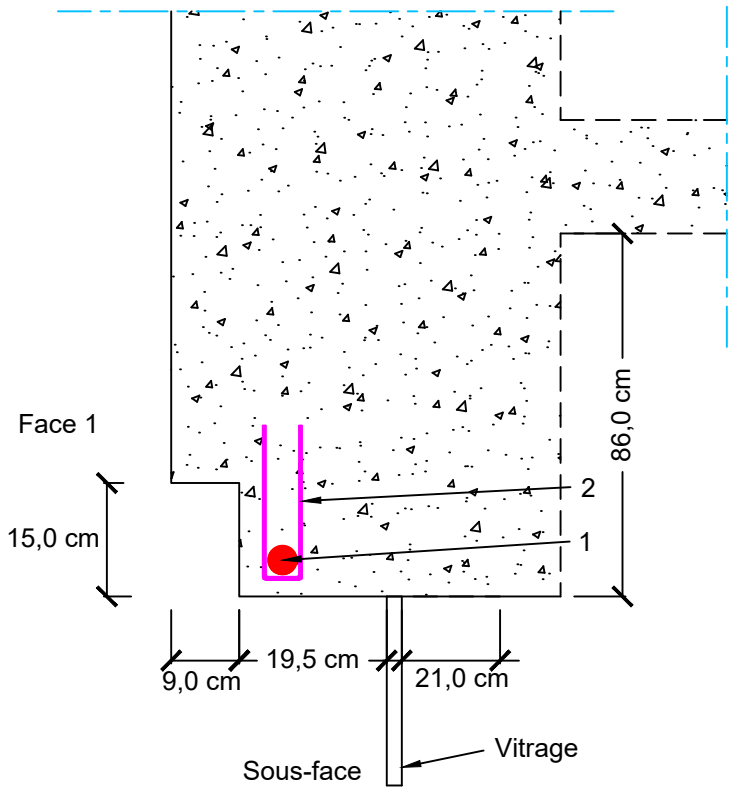
RSx	Sondage buriné ponctuel + mesure de carbonatation
CAx	Carottage pour mesure de carbonatation
Cx et DHx	Carottage de reconnaissance sur voile/poteau
PCx	Prélèvement par carottage pour analyses chimique
ECMx	Prélèvement béton par carottage pour essai mécanique
ECMxacier	Prélèvement métal par meulage pour essai mécanique
SBx	Sondage de reconnaissance de plancher bois (plancher bas)
SBex	Sondage de reconnaissance de plancher béton (plancher bas)
Fx	Essai d'absortion d'eau

GÉOTEC
ENSEMBLE, CONCEVONS UN AVENIR DURABLE

Annexe 2 : Plans et coupes des sondages

Sondage RS1 - Linteau RDC côté mer

Reconnaissance structurelle
Ech : 1/10 (A4)



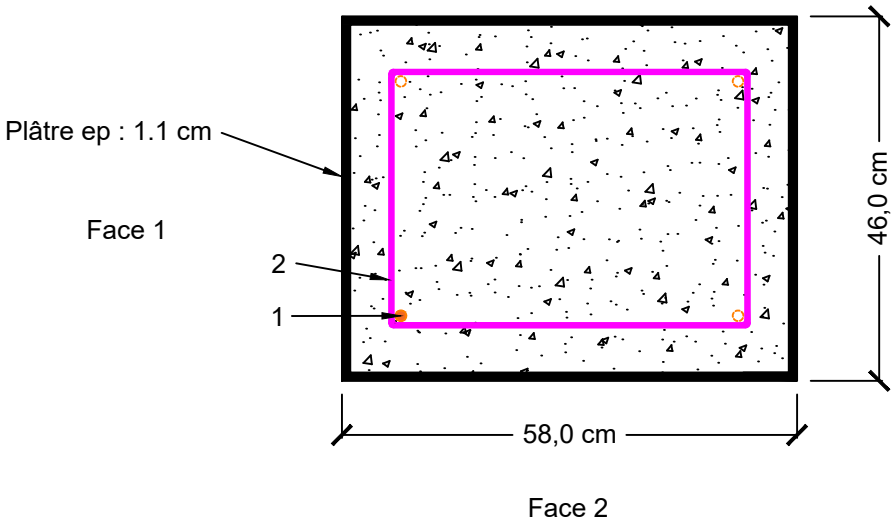
n°	Nombre	Nature	Diamètre	Enrobages (cm)	Type	Espacements (cm)
1	1	RL	38 résiduel	Sous-face : 4.4 Face 1 : 6.2	Filant	-
2	1	Plat	50x4	Sous-face : 2.9 Face 1 : 5.7	Cadre	-

Portée : 4.18 m
Carbonatation du béton : Supérieur à 90 mm
Etat des aciers : Corrodé avec perte de section



Sondage RS2 - Poteau RDC

Reconnaissance structurelle
Ech : 1/10 (A4)

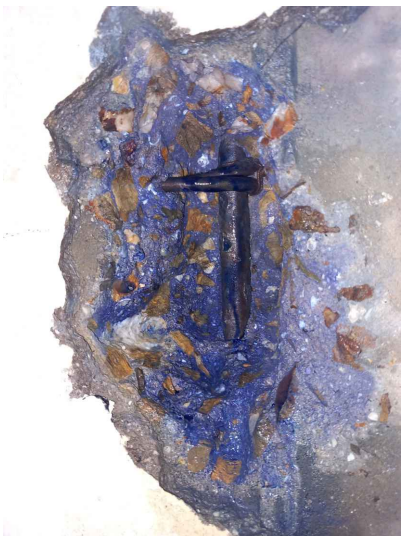


n°	Nombre	Nature	Diamètre	Enrobages (cm)	Type	Espacements (cm)
1	1	RL	14	Face 1 : 6.0 Face 2 : 6.8	Filant	-
2	1	RL	6	Face 1 : 4.5 Face 2 : 6.0	Cadre	23

Hauteur : 2.51 m
Section : 46x58 cm
Etat des aciers : Oxydation superficielle
Carbonatation du béton : 44 mm

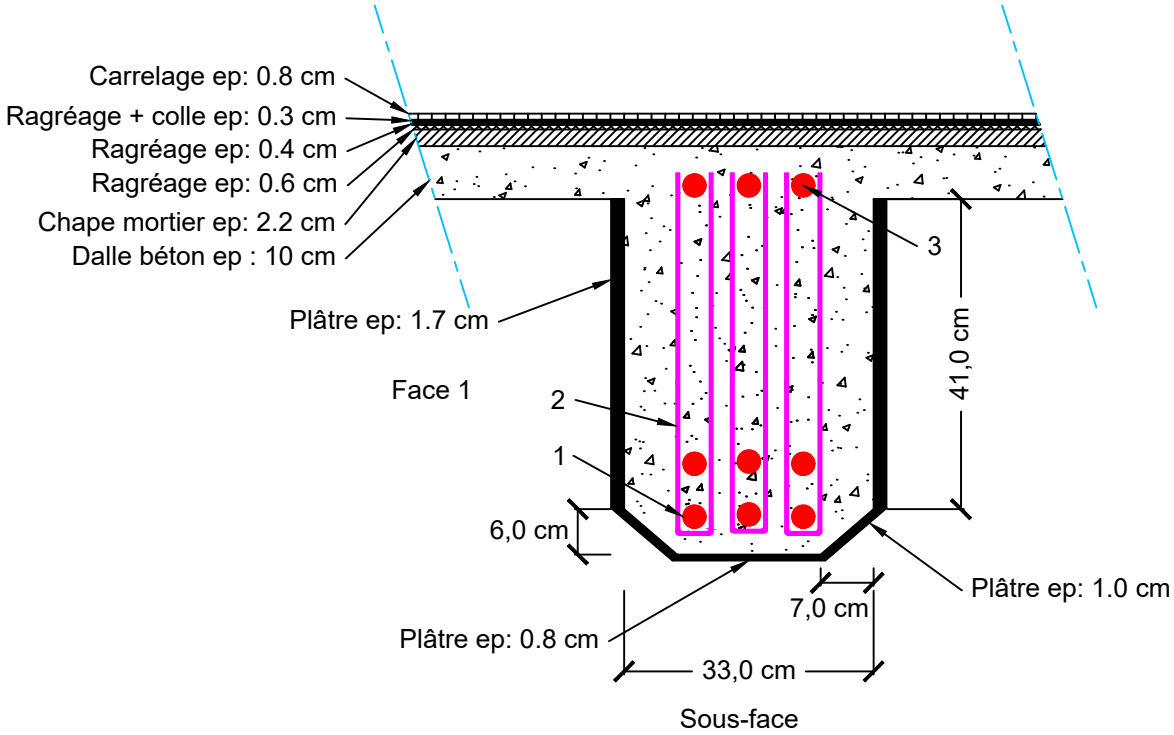






Sondage RS3 - Poutre principale Plancher haut RDC + chapeau

Reconnaissance structurelle
Ech : 1/10 (A4)



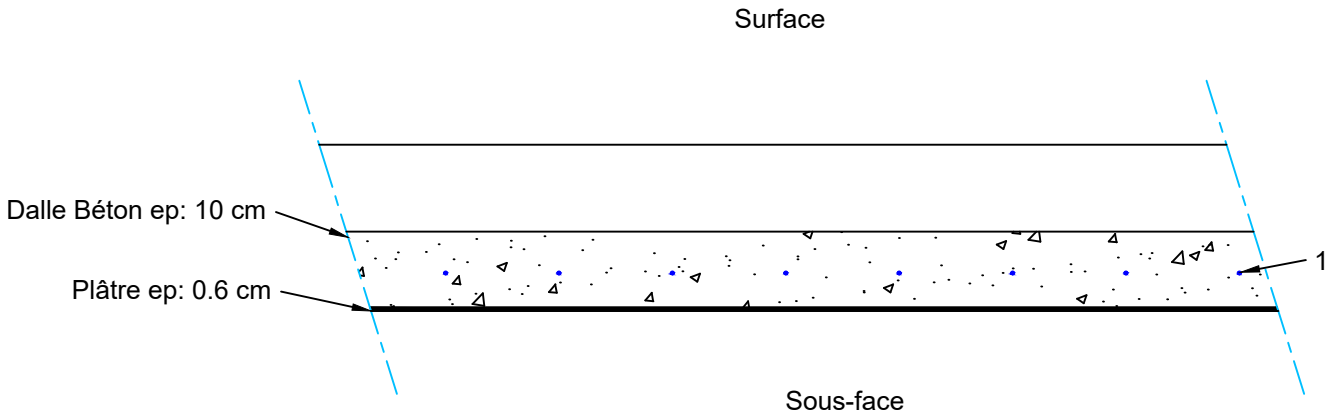
n°	Nombre	Nature	Diamètre	Enrobages (cm)	Type	Espacements (cm)
1	2x3	RL	30	Sous-face : 3.5 / 3.8 / 10.5 / 9.5 Face 1 : 9.3 / 9.3	Filant	-
2	3	Plat	40x4mm	Sous-face : 1.0 / 1.3	Cadre plat	20/26/35/35
3	3	RL	30	Surface : 16.6 / 18.3	Chapeau	-

Portée : 9.10 m
Section : 330x470ht mm hors tout
Etat des aciers : corrosion sur cadre / amorce de corrosion sur filant
Carbonatation du béton : Supérieur à 100 mm
Enrobages mesurés par rapport au revêtements



Sondage RS4 - Dalle Plancher haut RDC

Reconnaissance structurelle
Ech : 1/10 (A4)



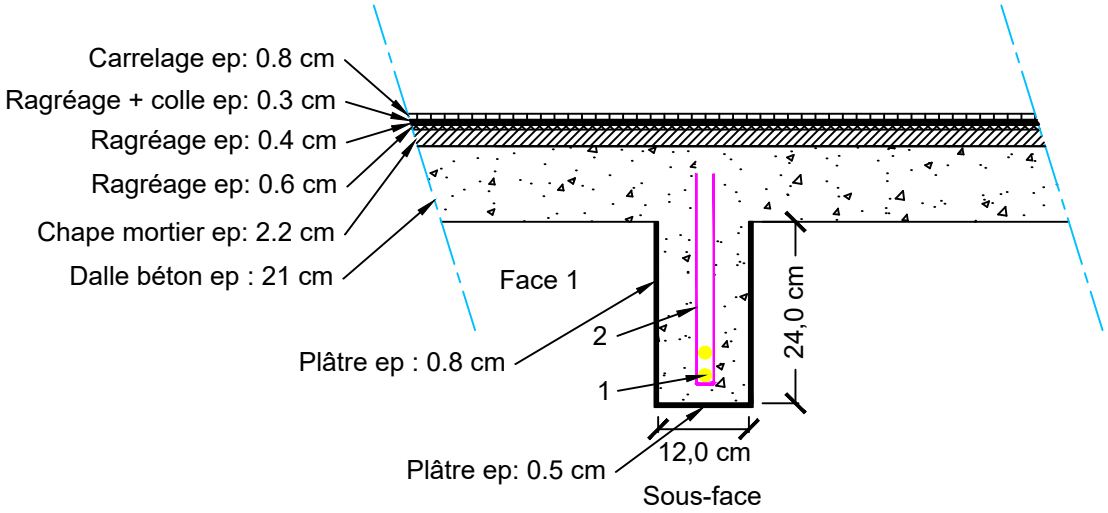
n°	Nombre	Nature	Diamètre	Enrobages (cm)	Type	Espacements (cm)
1	1	RL	7	Sous-face : 4.5	Porteur	25

Portée : 1.40 m
Carbonatation du béton : Supérieur à 70 mm
Aucun acier de répartition détecté



Sondage RS5 - Poutre secondaire + chapeau

Reconnaissance structurelle
Ech : 1/10 (A4)



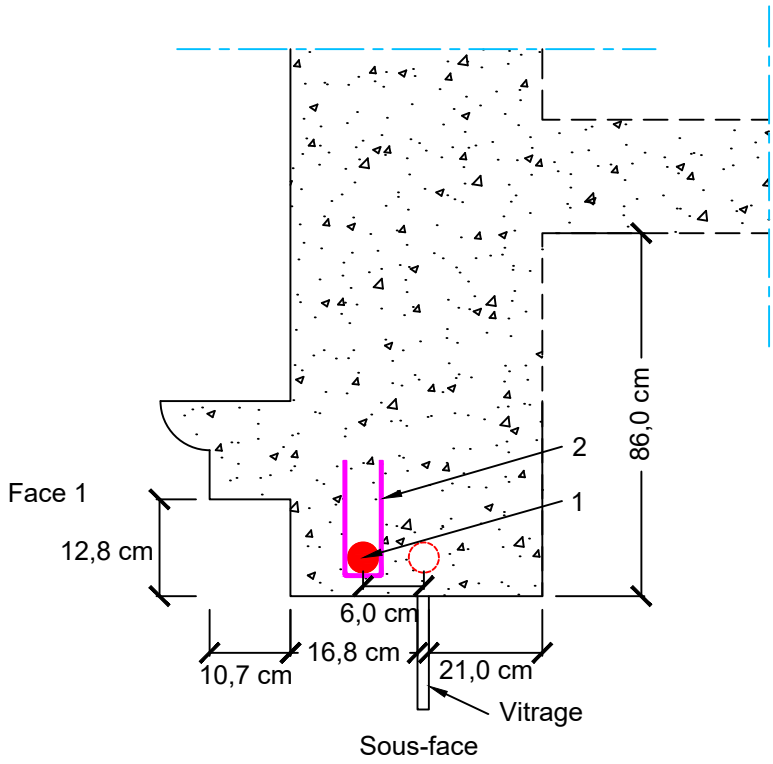
n°	Nombre	Nature	Diamètre	Enrobages (cm)	Type	Espacements (cm)
1	1	RL	16	Sous-face : 2.9 Face 1 : 6.2 / 6.2	Filant	-
2	1	Plat	32x2	Sous-face : 1.8 Face 1 : 5.3	Cadre	20/21/21/25/30

Portée : 4.22 m
Section : 330x470ht mm hors tout
Etat des aciers : Etrier corrodé + amorce de corrosion sur filant
Carbonatation du béton : Sur toute la largeur de l'élément
Pas de continuité sur appui des poutres secondaires



Sondage RS6 - Linteau RDC Sud

Reconnaissance structurelle
Ech : 1/10 (A4)



n°	Nombre	Nature	Diamètre	Enrobages (cm)	Type	Espacements (cm)
1	1	RL	40	Sous-face : 3.1 Face 1 : 7.6	Filant	-
2	1	Plat	50x4	Sous-face : 1.3 Face 1 : 6.9	Cadre	-

Portée : 4.20 m
Carbonatation du béton : Supérieur à 80 mm
Etat des aciers : Corrodé avec perte de section

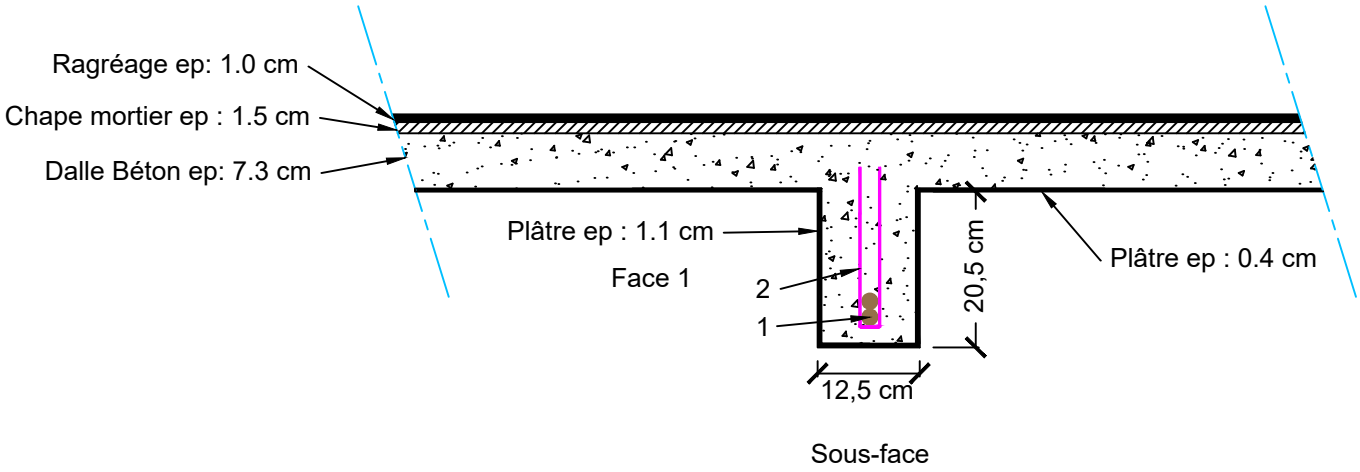






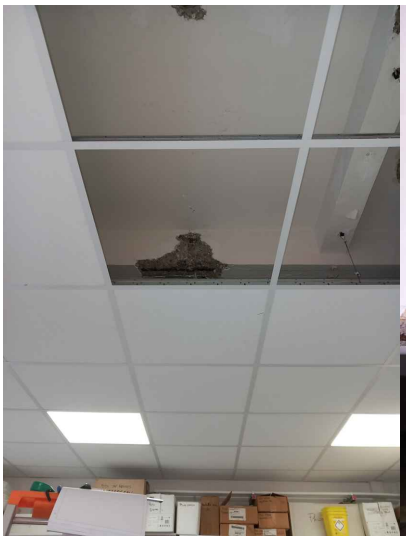
Sondage RS7 - Poutre principale Plancher haut RDC

Reconnaissance structurelle
Ech : 1/10 (A4)



n°	Nombre	Nature	Diamètre	Enrobages (cm)	Type	Espacements (cm)
1	2	RL	20	Sous-face : 2.5 / 4.5 Face 1 : 6.4	Filant	-
2	1	Plat	32x2	Sous-face : 2.0 Face 1 : 6.2	Cadre	14/15/16/20/18/34/33

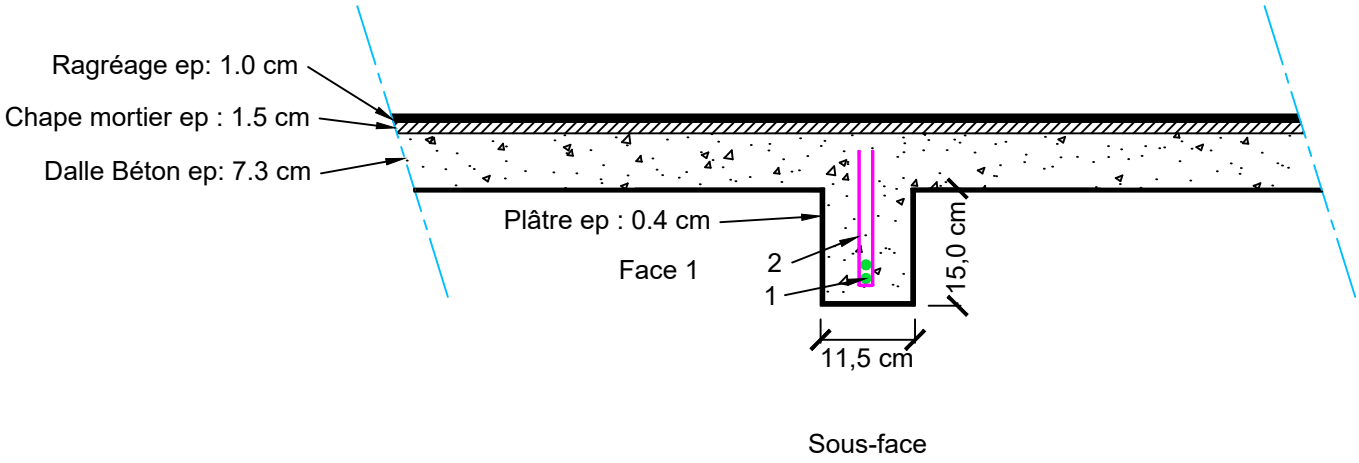
Portée : 3.47 m
Section : 12.5x20.5ht cm
Etat des aciers : Amorce de corrosion
Carbonatation du béton : Supérieur à 60 mm





Sondage RS8 - Poutre secondaire de rive Plancher haut RDC

Reconnaissance structurelle
Ech : 1/10 (A4)



Sous-face

n°	Nombre	Nature	Diamètre	Enrobages (cm)	Type	Espacements (cm)
1	2	RL	12	Sous-face : 2.5 Face 1 : 5.8 / 5.5	Filant	-
2	1	Plat	25x2	Sous-face : 1.9 Face 1 : 4.8	Cadre	12/14/13/18/19/20/18/22

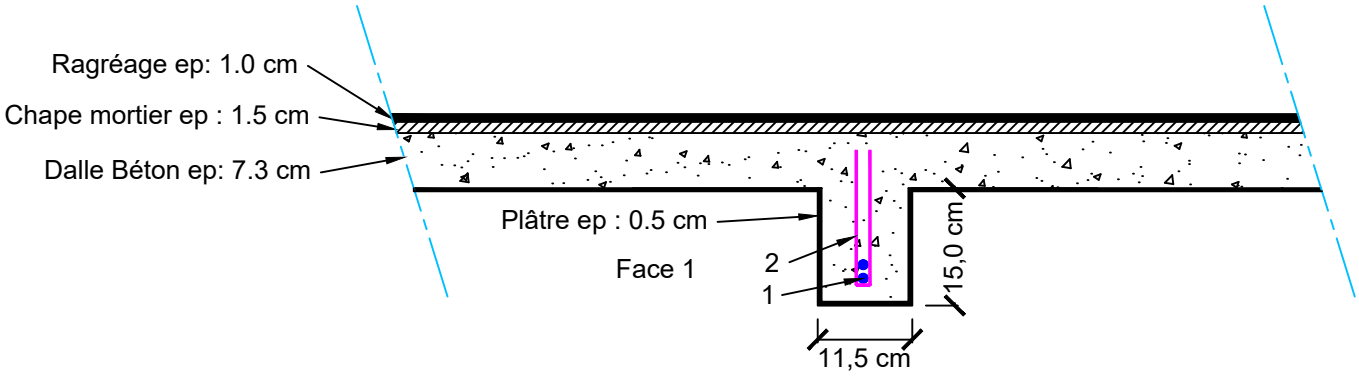
Portée : 2.57 m
Section : 11.5x15ht cm
Etat des aciers : Amorce de corrosion
Carbonatation du béton : Supérieur à 70 mm





Sondage RS9 - Poutre secondaire Plancher intermédiaire Plancher Haut RDC

Reconnaissance structurelle
Ech : 1/10 (A4)



Sous-face

n°	Nombre	Nature	Diamètre	Enrobages (cm)	Type	Espacements (cm)
1	2	RL	10	Sous-face : 3.0 Face 1 : 4.8	Filant	-
2	1	Plat	21x2	Sous-face : 2.4 Face 1 : 5.8	Cadre	14/13/13/20/19/23

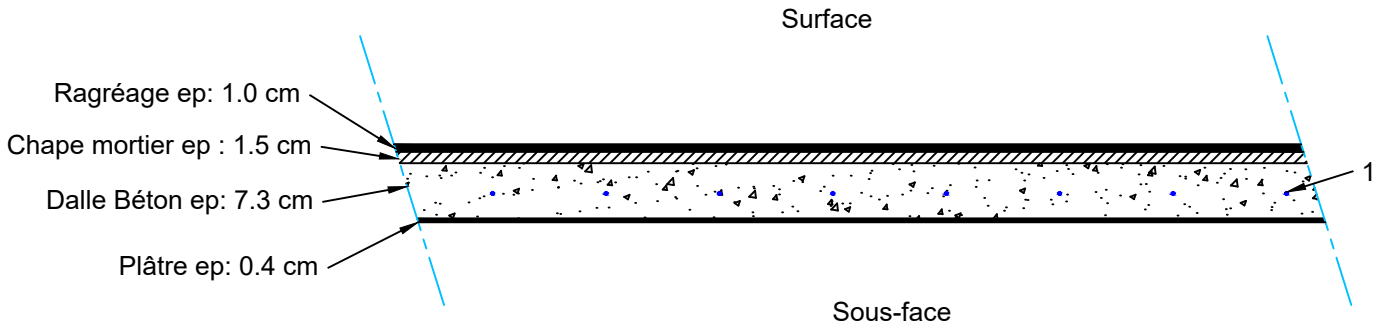
Portée : 2.57 m
Section : 11.5x15ht cm
Etat des aciers : Corrosion avec amorce perte de section
Carbonatation du béton : Supérieur à 60 mm
Ancienne réparation trace de passivation sur les aciers
Fissure longitudinale en sous-face





Sondage RS10 - Sous-face dalle intermédiaire Plancher Haut RDC

Reconnaissance structurelle
Ech : 1/10 (A4)



n°	Nombre	Nature	Diamètre	Enrobages (cm)	Type	Espacements (cm)
1	1	RL	7	Sous-face : 3.3	Porteur	23

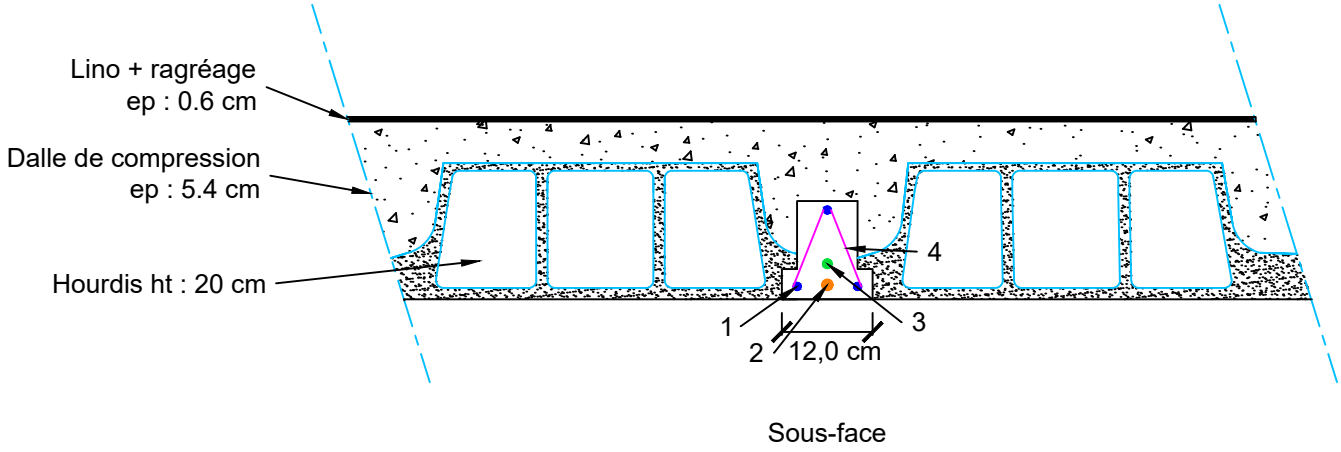
Portée : 1.11 m
Carbonatation du béton : Supérieur à 70 mm
Etat des aciers : Amorce de corrosion
Aucun acier de répartition détecté





Sondage RS11 - Plancher haut RDC - Salle LD062

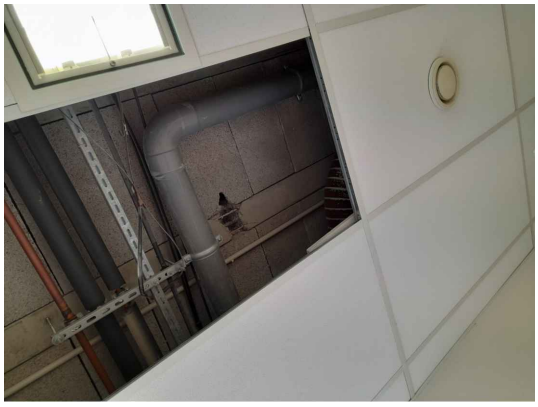
Reconnaissance structurelle
Ech : 1/10 (A4)



Sous-face

n°	Nombre	Nature	Diamètre	Enrobages (cm)	Type	Espacements (cm)
1	3	RL	10	Sous-face : 1.2 / 1.2 / 11.8	Filant	-
2	1	HA	14	Sous-face : 1.2	Filant	-
3	1	HA	12	Sous-face : 4.1	Filant	-
4	1	RL	6	-	Cadre	-

Portée : 6.2 m
Poutrelle entraxe : 60 cm

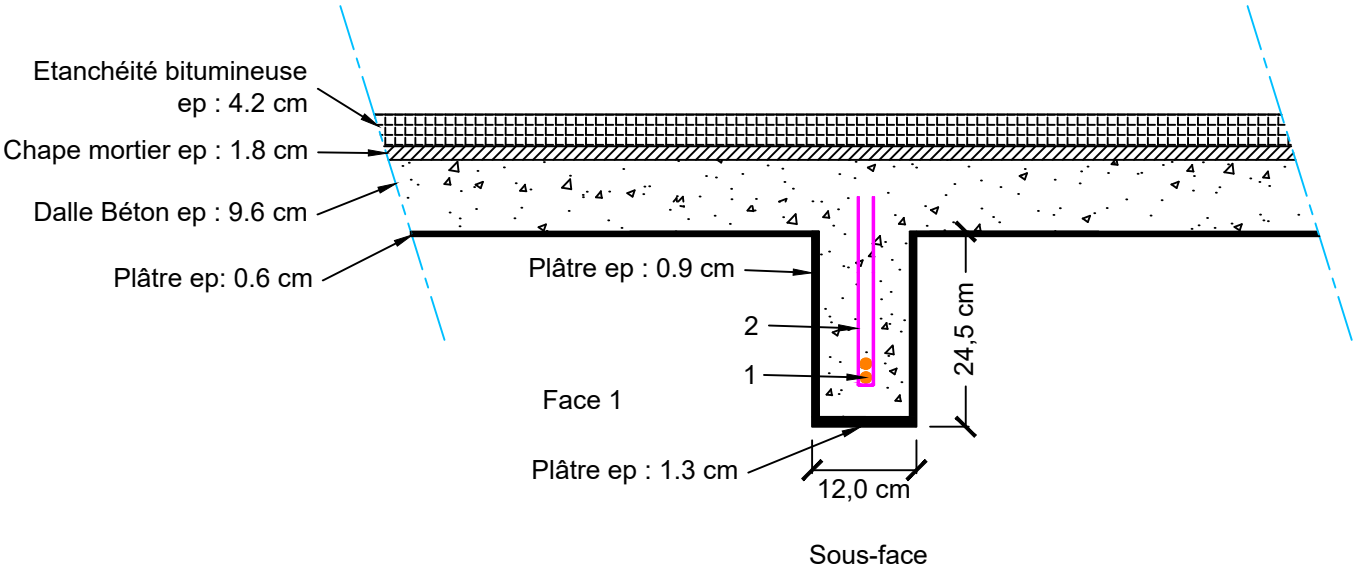






Sondage RS12 - Poutre secondaire rive Plancher Haut R+1

Reconnaissance structurelle
Ech : 1/10 (A4)



n°	Nombre	Nature	Diamètre	Enrobages (cm)	Type	Espacements (cm)
1	2	RL	14	Sous-face : 6.2 Face 1 : 4.5	Filant	-
2	1	Plat	32x2	Sous-face : 4.1 Face 1 : 3.3	Cadre	-

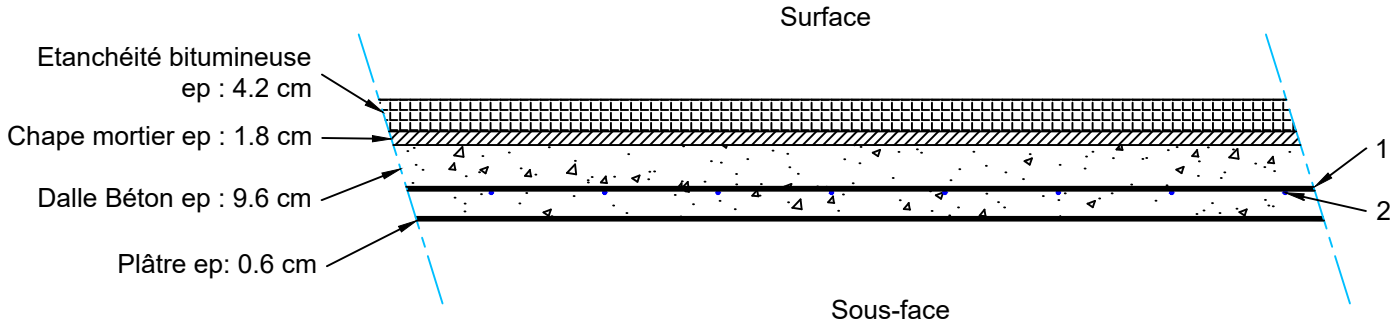
Portée : 3.70 m
Section : 12x24.5ht cm
Carbonatation du béton : Supérieur à 50 mm
Etat des aciers : Corrodé avec perte de section
Fissuration longitudinale de la poutre secondaire
Décollement interface béton/métal





Sondage RS13 - Dalle Plancher haut R+1

Reconnaissance structurelle
Ech : 1/10 (A4)



n°	Nombre	Nature	Diamètre	Enrobages (cm)	Type	Espacements (cm)
1	1	RL	7	Sous-face : 4.4	Porteur	25
2	1	RL	7	Sous-face : 3.4	Répartition	27

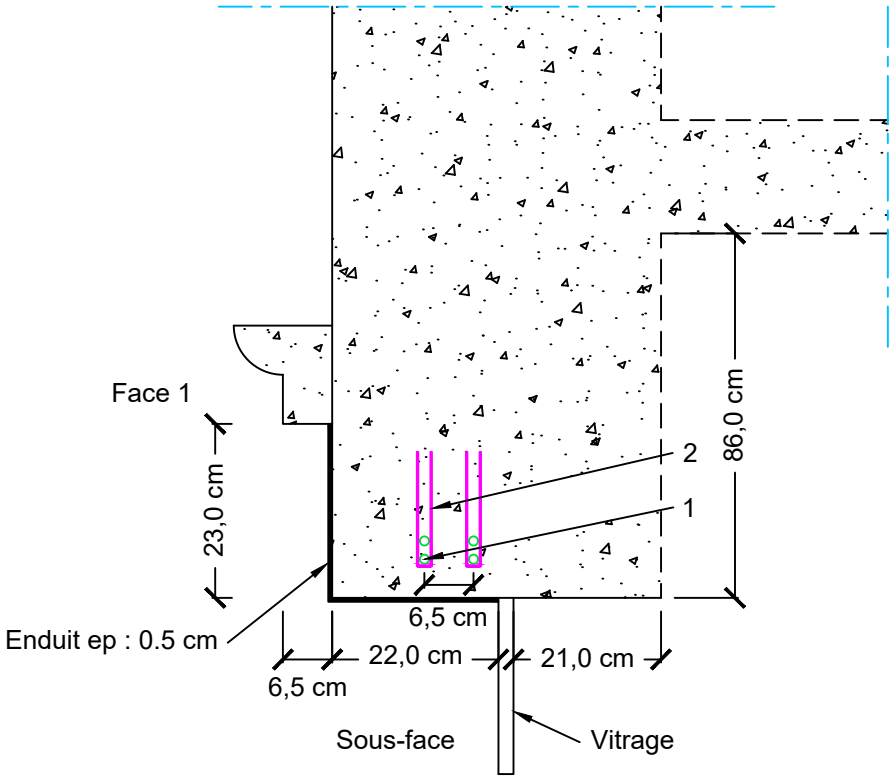
Portée : 1.47 m
Carbonatation du béton : Supérieur à 50 mm
Etat des aciers : Amorce de corrosion





Sondage RS14 - Linteau R+1 Sud

Reconnaissance structurelle
Ech : 1/10 (A4)



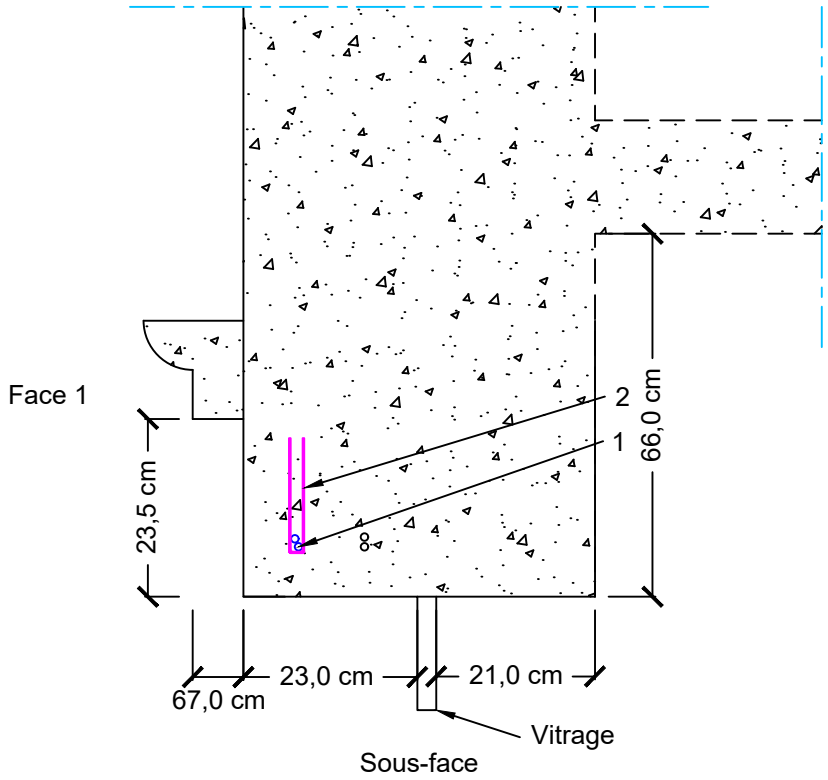
n°	Nombre	Nature	Diamètre	Enrobages (cm)	Type	Espacements (cm)
1	4	RL	12	Sous-face : 4.5 / 5.1 3.0 4.8 Face 1 : 12.2 / 13.2	Filant	-
2	1	Plat	22x2	Sous-face : 3.0 Face 1 : 11.7	Cadre	-

Portée : 3.01 m
Carbonatation du béton : Supérieur à 80 mm
Etat des aciers : Corrodé amorce de perte de section / cadre dissous



Sondage RS15 - Linteau R+1 côté mer

Reconnaissance structurelle
Ech : 1/10 (A4)



n°	Nombre	Nature	Diamètre	Enrobages (cm)	Type	Espacements (cm)
1	2	RL	10	Sous-face : 7.0 / 6.1 Face 1 : 5.5 / 6.7	Filant	-
2	1	Plat	Dissous	Sous-face : 1.3 Face 1 : 6.9	Cadre	-

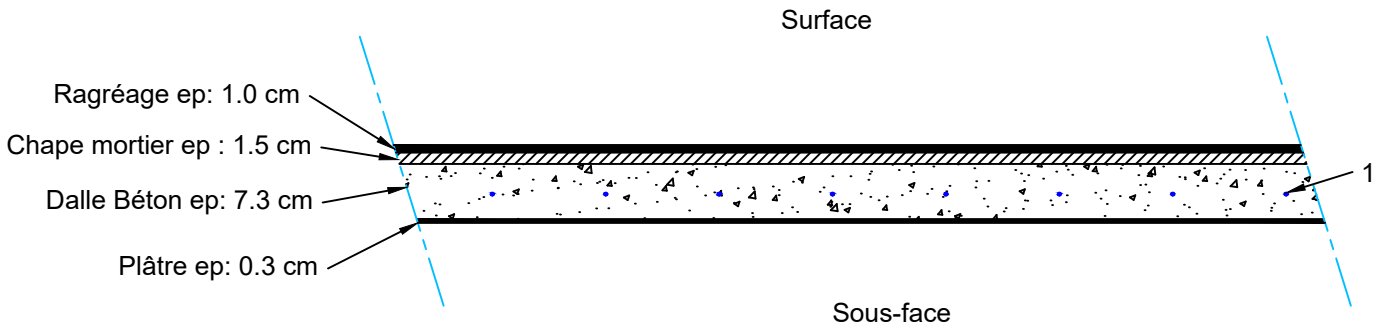
Portée : 2.80 m
Carbonatation du béton : Supérieur à 100 mm
Etat des aciers : Amorce de corrosion / cadre totalement dissous





Sondage RS16

Reconnaissance structurelle
Ech : 1/10 (A4)



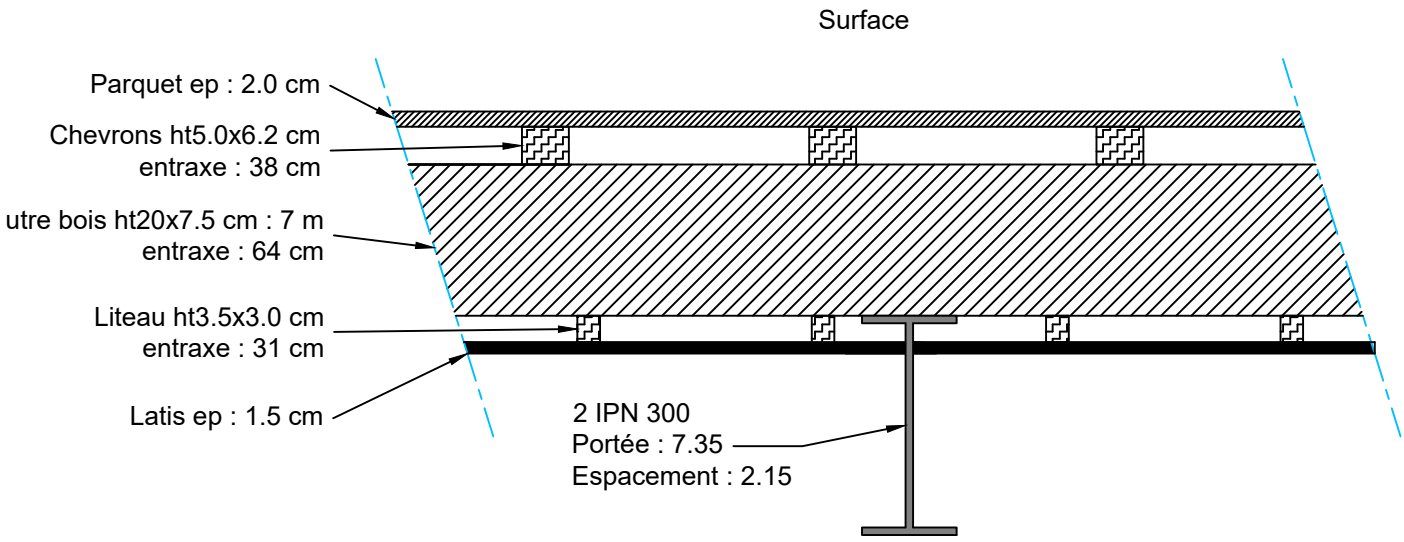
n°	Nombre	Nature	Diamètre	Enrobages (cm)	Type	Espacements (cm)
1	1	RL	7	Sous-face : 3.5	Porteur	23

Portée : 1.10 m
Carbonatation du béton : Supérieur à 70 mm
Etat des aciers : Oxydation superficielle
Aucun acier de répartition détectée
Humidité en sous-face de dalle
Fissure en biais sous-face de dalle



Sondage SB1 - Plancher bas R+1 bibliothèque

Reconnaissance structurelle
Ech : 1/10 (A4)



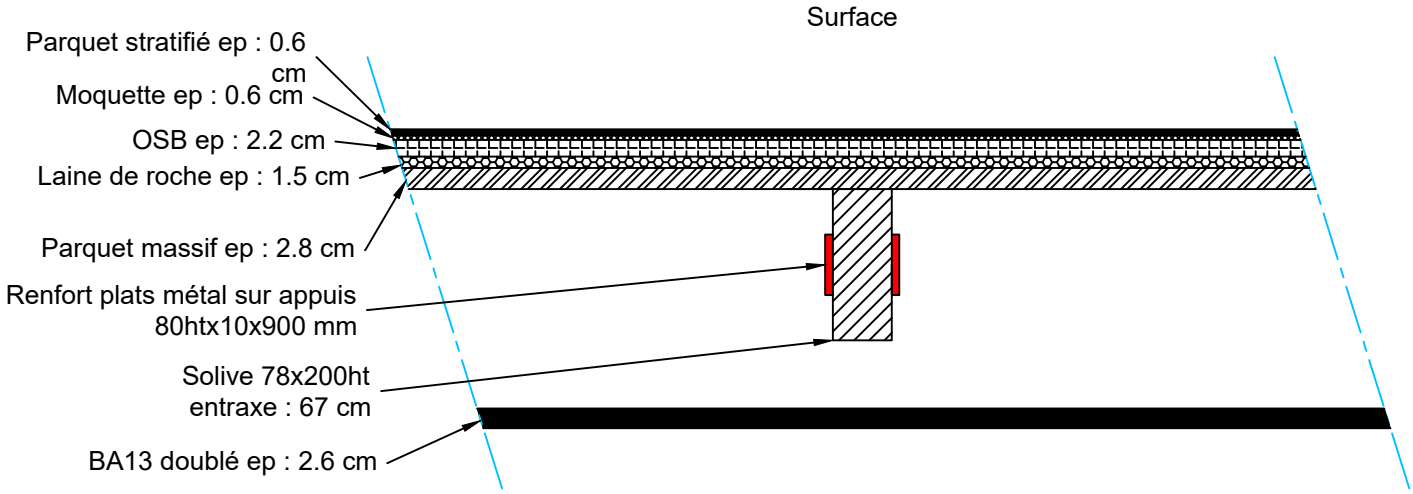






Sondage SB2 - Plancher bas R+2

Reconnaissance structurelle
Ech : 1/10 (A4)



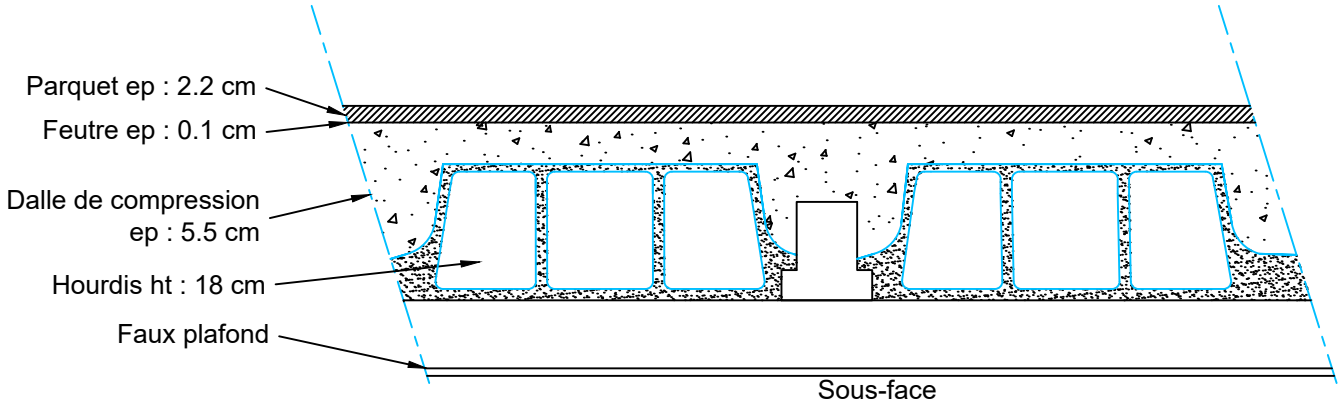
Portée solive : 6.7 m





Sondage SBe1 - Plancher bas R+1 bibliothèque

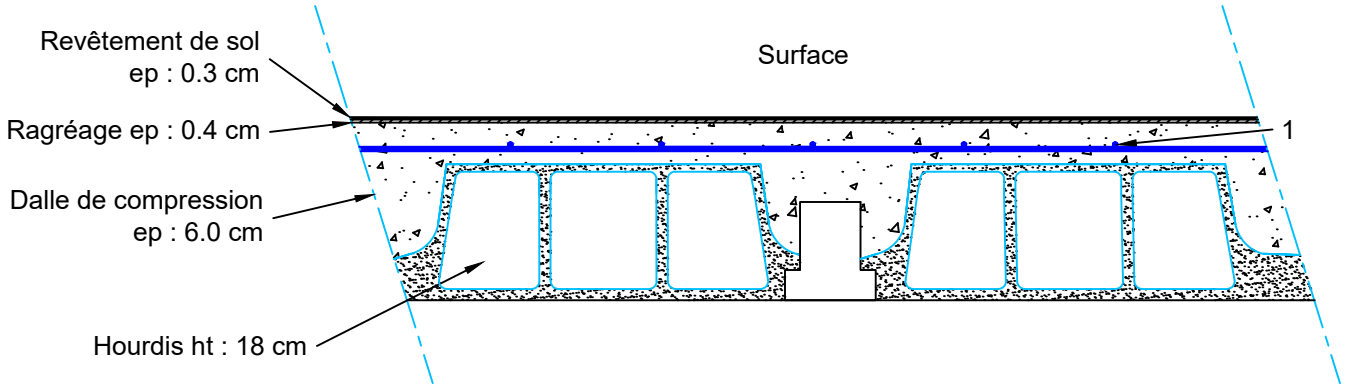
Reconnaissance structurelle
Ech : 1/10 (A4)





Sondage SBe2 - Plancher bas R+2 couloir

Reconnaissance structurelle
Ech : 1/10 (A4)



n°	Nombre	Nature	Diamètre	Enrobages (cm)	Type	Espacements (cm)
1	1	HA	6	Surface : 3.9	TS	Maille 20x20

Sondage opéré à l'aplomb du faux-entrait - pas d'éléments bois noyé dans le plancher



Vue en plan - RDC - Implantation poutrelle

Reconnaissance structurelle
Ech : 1/200 (A3)

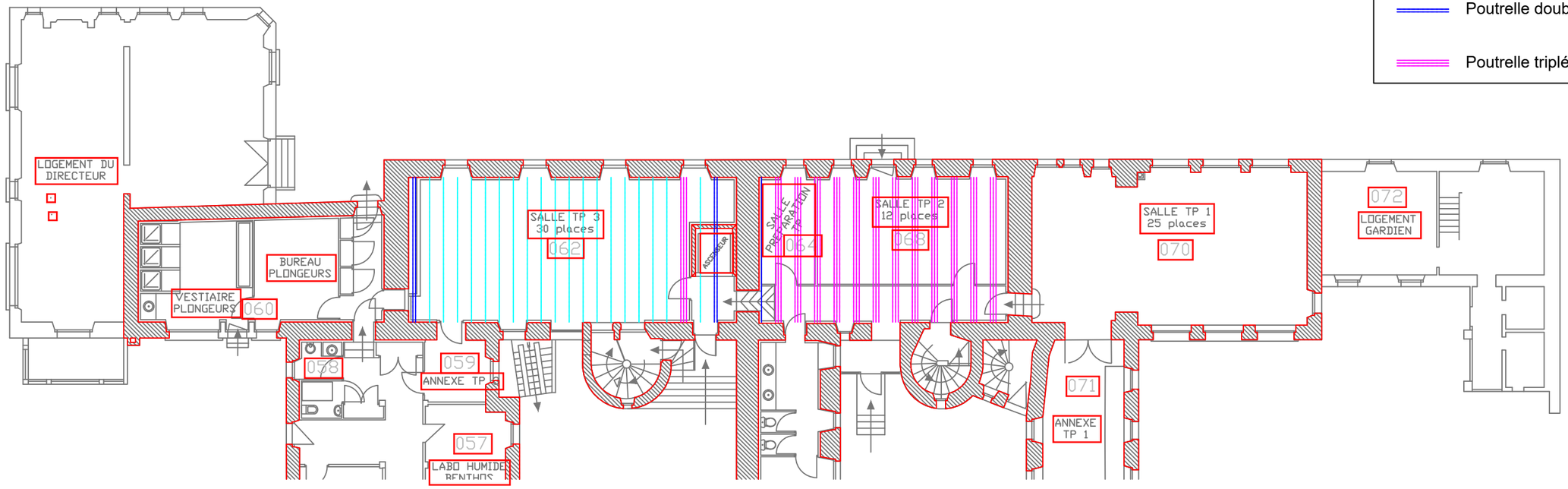
Nota :
- Entraxe poutrelles simples : 60 cm
- Entraxe poutrelles doublées et triplées : 12 cm (largeur du talon)

Légende :

Poutrelle simple

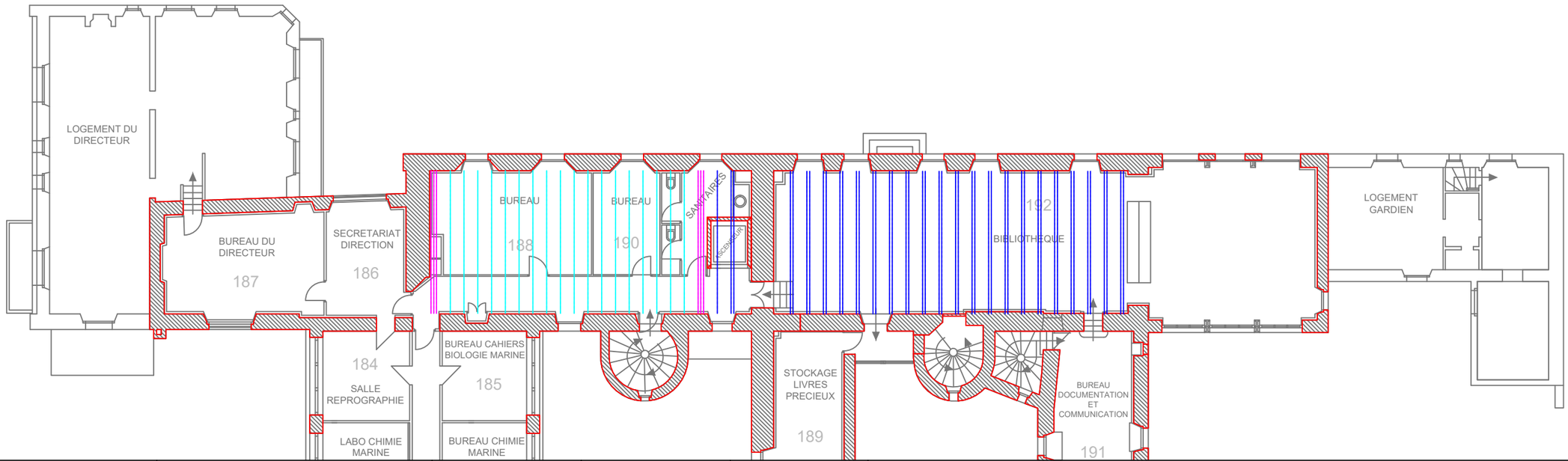
Poutrelle doublée

Poutrelle triplée



Vue en plan - R+1 - Implantation poutrelle

Reconnaissance structurelle
Ech : 1/200 (A3)



GÉOTEC ENSEMBLE, CONCEVONS UN AVENIR DURABLE	Dessiné par : R.POMMIER	Le : 20/03/2025	Indice: 0	Annexe 1
	Vérifié par : F. GAUTIER	Dossier n° 2024/11615/NANTS		Page : 4/4

RECONNAISSANCE STRUCTURELLE
STATION BIOLOGIQUE
ROSCOFF

GÉOTEC
ENSEMBLE, CONCEVONS UN AVENIR DURABLE

Annexe 3 : PV des essais en laboratoire

AFQS
Laboratoire • Béton • Granulat

PROCES VERBAL

ESSAIS SUR BETON DURCI

Masse volumique apparente & porosité sur carotte de béton durçi (NF P 18-459)

Evaluation de la résistance à la compression sur site des structures et éléments préfabriqués en béton (NF EN 13791)

Résistance à la compression sur carotte de béton durçi (NF EN 12504-1 et NF EN 12390-3)

Identification

Client

Client : GEOTEC

Chantier : ROSCOFF-Restructuration de la station biologique-Place Georges Teissier

Référence : 2411615

Commande 25-STR-NT-2809

N° dossier d'affaire : 2025-006

Origine du béton

Entreprise : -

Centrale de fabrication : -

Désignation du béton : -

Age du béton (jours) : -

Température ext (°C) : -

Résultats des essais à la compression

Carotte	Masse de la carotte (g)	Hauteur (mm)	Diamètre (mm)	Charge (kN)	Résistance brute en compression sur carotte (MPa)
ELANCEMENT 2					
ECM1	1456	148	74	69	**16,0**
ECM2	1408	148	74	67	**15,6**
				Moyenne	**15,8**

Carotte	Masse de la carotte (g)	Hauteur (mm)	Diamètre (mm)	Charge (kN)	Résistance brute en compression sur carotte (MPa)
ELANCEMENT 1					
ECM3	589	74	74	34	**7,9**
ECM4	696	74	74	48	**11,2**
				Moyenne	**9,5**

Conclusions

Résistance brute à la compression normalisée sur cubes (élancement 1)	**9,5 MPa**
Résistance brute à la compression normalisée sur éprouvettes (élancement 2)	**15,8 MPa**

Date : 09/04/2025

Technicien chargé des essais : A. RAINEAU-BECQUE

Chargée de la Qualité : A.MEAUDE

Historique : Réception du 11/03/2025
Version initiale du 17/03/2025

Personne autorisant le rapport : Le Responsable Technique : R. LEDRU | **La Technicienne : E. LEDRU** | **Le Technicien : T. MENAGE**

Client : GEOTEC
Monsieur POMMIER Romain
Site de Nantes
Le Clair de Lune
44360 SAINT-ETIENNE-DE-MONTLUC

Données fournies par le client :

Repère client : **Commande 25-STR-NT-1926 du 10/03/2025**

Identification de(s) l'échantillon(s) :
Affaire 2411615 : ROSCOFF - Restructuration de la station biologique - Place Georges Teissier - RECOSTR
1 - armature ECM1 poteau Ø6mm
2 - cadre plat ECM2 nervure
3 - cadre plat ECM4 solive

Essai(s) demandé(s) :
- → Essai de traction à température ambiante – Quantité : 1
- → Contrôle de dureté HV1 – Quantité : 2

Cahier des charges :
- → Traction : non communiqué
- → Dureté : - HV1

Destination des échantillons à l'issue des essais : Conservation une semaine puis destruction

Position(s) du (des) prélèvement(s) :

L'échantillonnage a été effectué par le client.



Photographie(s) de(s) l'échantillon(s) testé(s). Position du (des) prélèvement(s).

Le rapport ne doit pas être reproduit, sauf dans son intégralité, sans l'approbation du Laboratoire
Identification : IMP/016 Indice : 15

Les résultats et les conclusions éventuelles s'appliquent uniquement à l'échantillon tel qu'il a été reçu.
LABORATOIRE FAN – 3, boulevard Louis Aragon – 08000 Charleville-Mézières
Tél : 03.24.33.27.24 – Fax : 03.24.33.17.28 – Site internet : http://www.laboratoire-fan.com – Mail : contact@labo-fan.com
SCIC SAS à capital variable – SIRET : 30801798700022 – APE : 9499Z – TVA : FR60308017987 – RCS SEDAN 308017987
cofrac ESSAIS
Seuls les résultats repérés par le symbole * sont couvert par l'accréditation.
Accréditation n°1-1428
Portée disponible sur www.cofrac.fr

Essai de traction à température ambiante (+23 ±5°C)

Technicienne : E. LEDRU
Norme : NF EN ISO 6892-1 A224 : 12/2019 - Machine : INSTRON n°600LXL4577.
Extensomètre(s) : INSTRON n°166116(Le=25mm) .
Usinage des éprouvettes par : un usineur agréé par le Laboratoire FAN.
Type d'éprouvette : Circulaire et proportionnelle. Sens et orientation des prélèvements : Voir la photographie en page 1.
Vitesse d'essai : Méthode A1 : Intervalles 2 ; 2 (0,00025 /s) puis 4 (0,0067 /s).

Résultats (* : mesures accréditées COFRAC) :

Repère	$Ø_0$ mm	L_0 mm	$Ø_u$ mm	L_u mm	Re_H MPa	Re_L MPa	$Rp_{0,2}$ MPa	Rp_1 MPa	Rm MPa	A %	Z %	Date et température de l'essai
ECM1	4,01	20,0	2,0	26,8	**0298***	**0290***	**0291***	**-**	**0393***	**34,0***	**75***	*17/03/2025 (+22°C)*
	Cahier des charges				-	-	-	-	-	-	-	

Note : Les caractéristiques mécaniques de traction obtenues sur une éprouvette usinée peuvent différer de celles obtenues sur tige, notamment pour les spécimens dont le process de fabrication provoque un important écrouissage. Les caractéristiques géométriques des échantillons fournis ne permettent pas un essai direct de l'échantillon.

Essai de dureté

Technicien : T. MENAGE – Date(s) de l'essai : **13/03/2025**
Norme : **NF EN ISO 6507-1 : Octobre 2023** – Machine : **EMCO DURASCAN 50 n°522**
Essai de dureté Vickers réalisé sous une charge de 1 kgf.

Résultats (* : mesures accréditées COFRAC) :

Mesure	ECM2 Dureté HV1	ECM4 Dureté HV1
1 (à 0,3mm de la surface)	157*	169*
2 (à 0,3mm de la surface)	157*	172*
3 (mi-épaisseur)	157*	164*
4 (mi-épaisseur)	157*	165*
5 (Cœur)	161*	166*
Moyenne :	***158***	***167***
$Rm_{converti}$ (MPa) : *Conversion à titre indicatif, hors accréditation selon EN ISO 18265 table A.1*	***≈504***	***≈536***

Le rapport ne doit pas être reproduit, sauf dans son intégralité, sans l'approbation du Laboratoire
Identification : IMP/016 Indice : 15

Les résultats et les conclusions éventuelles s'appliquent uniquement à l'échantillon tel qu'il a été reçu.

LABORATOIRE FAN – 3, boulevard Louis Aragon – 08000 Charleville-Mézières
Tél : 03.24.33.27.24 – Fax : 03.24.33.17.28 – Site internet : http://www.laboratoire-fan.com – Mail : contact@labo-fan.com
SCIC SAS à capital variable – SIRET : 30801798700022 – APE : 9499Z – TVA : FR60308017987 – RCS SEDAN 308017987

Seuls les résultats repérés par le symbole * sont couvert par l'accréditation.
Accréditation n°1-1428
Portée disponible sur www.cofrac.fr

Siège Social
Technopole Grand Poitiers
24 boulevard du Grand Cerf
86000 POITIERS

Bureaux et Laboratoire
Bâtiment B8-B35, 1er étage
7, rue Albert Turpain
86000 POITIERS

☎ 05 49 46 18 11
www.erm-poitiers.fr

Roscoff
Station biologique
Finistère

Analyses bétons

Commanditaire : Frédéric GAUTIER
GEOTEC Nantes
ZA Clair de Lune
44360 St ETIENNE DE MONTLUC

V/Réf commande : BC n°25-STR-NT-2237 du 18/03/2025

N/Réf : **DEV24-005v4 - AFF MAT25 071 – Lot d'échantillon 25079**

Mai 2025

Rédacteur :	Vérificateur :
H. VERRON	T. DABAT

Diffusion du rapport :

- Monsieur Frédéric GAUTIER – **1 exemplaire numérique**

Sommaire

1 Introduction 3
2 Méthodes d'analyse en laboratoire 3
2.1 Étude en microscopie optique et électronique à balayage 3
2.2 Essai de masse volumique apparente et de porosité ouverte à l'eau 4
2.3 Extraction et dosage des sels solubles 4
2.4 Dosage de la silice soluble et estimation du dosage en ciment 4
3 Descriptions macroscopiques 4
3.1 Echantillon ECM1 5
3.2 Echantillon ECM2 6
3.3 Echantillon ECM3 7
3.4 Echantillon ECM4 8
3.5 Echantillon PC1 9
3.6 Echantillon PC2 10
3.7 Echantillon PC3 11
3.8 Echantillon PC4 12
3.9 Echantillon PC5 13
3.10 Echantillon PC6 14
3.11 Echantillon PC7 15
3.12 Echantillon PC8 16
3.13 Echantillon CA1 17
3.14 Echantillon CA2 18
3.15 Echantillon CA3 19
3.16 Echantillon CA5 (stratigraphie à vérifier) 20
3.17 Echantillon CA6 21
4 Résultats 22
4.1 Etude en microscopie électronique à balayage 22
4.1.1 Echantillon PC1 (0 à 40 mm) 22
4.1.2 Echantillon PC1 (140 à 180 mm) 24
4.1.3 Echantillon PC2 (0 à 40 mm) 26
4.1.4 Echantillon PC2 (60 à 100 mm) 29
4.1.5 Echantillon PC3 (0 à 40 mm) 31
4.1.6 Echantillon PC3 (50 à 90 mm) 35
4.1.7 Echantillon PC4 (0 à 40 mm) 37
4.1.8 Echantillon PC4 (100 à 140 mm) 40
4.1.9 Echantillon PC5 (0 à 40 mm) 42
4.1.10 Echantillon PC6 (0 à 30 mm) 44
4.1.11 Echantillon PC6 (90 à 130 mm) 48
4.1.12 Echantillon PC7 (0 à 40 mm) 50
4.1.13 Echantillon PC7 (110 à 150 mm) 53
4.1.14 Echantillon PC8 (0 à 40 mm) 55
4.1.15 Echantillon PC8 (120 à 160 mm) 56
4.2 Porosité ouverte à l'eau et masse volumique apparente 58
4.3 Contamination saline 60
4.4 Dosage en ciment 61
5 Synthèse 62

1 Introduction

Ce rapport est produit à la suite de la demande effectuée par Monsieur Frédéric Gautier, chef de projet GEOTEC Nantes, pour la caractérisation de 17 carottes de bétons provenant de la station biologique de Roscoff. Cet édifice date du début du 20ème siècle. Dix-sept carottes ont été décrites macroscopiquement. Huit d'entre elles ont ensuite été découpées pour réaliser des sections polies afin de déterminer la nature du béton et les éventuelles pathologies. Des dosages en chlorures libres, sulfates, alcalins, et silice soluble ont également été réalisés sur cette même sélection. Enfin, des mesures de la porosité ouverte à l'eau et de la masse volumique apparente ont été réalisées sur ces échantillons.

2 Méthodes d'analyse en laboratoire

2.1 Étude en microscopie optique et électronique à balayage

Afin d'étudier la microstructure et la composition des échantillons, une préparation de type section polie a été réalisée, après imprégnation dans une résine de type époxy : ARALDITE 2020 (HUNTSMAN). La section a été découpée puis polie sur des polisseuses avec des abrasifs diamantés très fins.

Les premières observations ont été effectuées au microscope optique polarisant de type NIKON Eclipse E600 POL, doté d'une caméra Digital Sight DS-U1 avec un logiciel d'acquisition NIS Elements D 3.0. Les clichés photographiques ont été effectués en lumière blanche réfléchie externe. Ces observations ont été complétées par des observations au microscope électronique à balayage et par des analyses chimiques élémentaires effectuées sur un appareil de marque JEOL de type IT500 (Low Vacuum) équipé d'un détecteur de type Everhart-Thornley permettant d'observer les surfaces en électrons secondaires et d'un détecteur d'électrons rétrodiffusés. En géométrie d'analyses, la gamme de grandissements possible s'étend de x 20 à x 300 000.

Les clichés présentés dans ce rapport ont été réalisés en électrons rétrodiffusés, ce mode d'observation permettant de mieux contraster les variations chimiques. En effet, les plages les plus claires correspondent à des zones composées d'éléments chimiques de masses atomiques plus élevées ou de densité globale plus importante. Le système d'analyse utilisé, piloté par le logiciel QUANTAX de *BRUKER AXS Microanalysis*, est constitué d'un détecteur Silicon drift XFLASH de microfluorescence X (en dispersion d'énergie E.D.S.). Ce type d'appareillage permet la détection des éléments chimiques de numéro atomique > 5 (détection possible des éléments à partir du carbone). Les conditions d'analyses sont les suivantes : tension d'accélération 15 kV, courant sonde $1 \cdot 10^{-9}$ A, temps de comptage 25 secondes. Les analyses présentées dans ce rapport sont des analyses qualitatives.

2.2 Essai de masse volumique apparente et de porosité ouverte à l'eau

La masse volumique apparente ainsi que la porosité ouverte à l'eau des bétons ont été déterminées selon le principe de la norme NF P18-459 (mars 2010) : Essai pour béton durci – Essai de porosité et de masse volumique. À partir des prélèvements transmis, la découpe des éprouvettes a été effectuée au disque diamanté en laboratoire. La porosité ouverte à l'eau a été déterminée par la méthode d'absorption d'eau sous vide sur les éprouvettes après séchage jusqu'à masse constante.

2.3 Extraction et dosage des sels solubles

Les dosages de sels solubles ont été réalisées selon les protocoles : "Extraction et dosage des chlorures libres (extraits à l'eau) dans un béton durci. – Mode opératoire" et "Détermination de la teneur en alcalins dans un béton durci", extraits du GranDuBé, Grandeurs associées à la durabilité des bétons (G. Arliguié et H. Hornain, AFGC, Presses de l'ENPC, 2007). L'extraction s'effectue à partir d'une prise d'essai du matériau sec mis en contact dans de l'eau distillée. La solubilisation des phases s'effectue avec un rapport solution/solide donné, par agitation mécanique durant seulement 3 minutes (suivi d'une acidification) pour les anions pour éviter la dissolution de chloroaluminates et durant 24h pour les alcalins. Le dosage des anions (Cl^-, SO_4^{2-}) a été effectué dans le filtrat par chromatographie ionique (DIONEX ICS-1000) avec une colonne analytique AS 9 HC tandis que le dosage des cations (Na^+, K^+) a été effectué par spectrométrie à plasma à couplage inductif (ICP-OES).

2.4 Dosage de la silice soluble et estimation du dosage en ciment

Les mesures de silice soluble ont été réalisées selon le protocole : "Détermination du dosage en ciment dans un béton durci. – Mode opératoire" recommandé par GranDuBé, Grandeurs associées à la durabilité des bétons, sous la direction de G. Arliguié et H. Hornain, AFGC, Presses de l'ENPC, 2007. L'extraction de la silice soluble est effectuée par mise en contact du béton, précédemment broyé et mis en solution dans de l'eau distillée, avec une solution d'acide nitrique à 1,2mol/L pendant 30 minutes. Dans ces conditions, la silice des grains silicatés est considérée comme insoluble. La solution est ensuite analysée par spectroscopie d'émission de plasma à couplage inductif (ICP-OES). Le dosage est réalisé sous 6h car la solution est instable à plus longue échéance. La teneur en ciment du béton est obtenue en calculant le ratio de la teneur en silice soluble dans l'échantillon sur la teneur en silice soluble dans un ciment pur. Cette dernière est estimée à partir des valeurs moyennes répertoriées dans le GranDuBé en fonction de la classe du ciment employé. La teneur en ciment, en pourcentage, est ensuite convertie en dosage en ciment, en kg/m^3, en prenant en compte la masse volumique apparente du béton.

3 Descriptions macroscopiques

Les échantillons de l'affaire GEOTEC 2411615 ont été reçus au laboratoire le 20 mars 2025 et enregistrés sous la référence 25079. Il s'agit de 17 carottes de diamètre 5 cm et de longueur variable.

3.1 Echantillon ECM1

Carotte mesurant 27cm de long et possédant cinq couches, de la surface vers la profondeur :

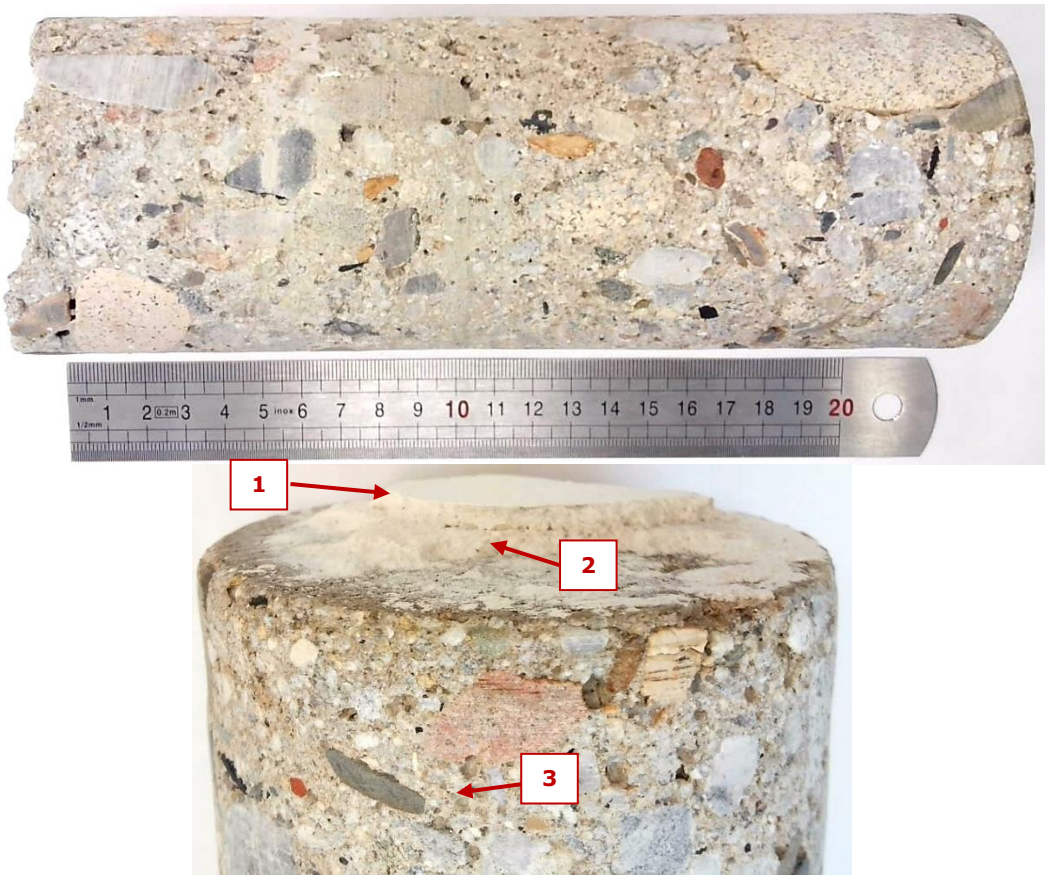
- La première correspond à une couche de peinture blanche et mesure moins de 1 mm d'épaisseur ;
- La seconde, de teinte beige clair, mesure environ 1 mm et correspond à un enduit ;
- La troisième couche, mesure environ 5 mm, et est de teinte gris foncé et correspond à un mortier. Elle possède une charge fine avec des grains mesurant jusqu'à 1 mm. Elle possède quelques macropores allant de 1 à 2 mm de diamètre ;
- La quatrième couche, de teinte gris beige, mesure 5mm et possède une charge fine avec des grains mesurant jusqu'à 1 mm. Elle possède quelques macropores allant de 1 à 2 mm de diamètre ;
- La cinquième couche mesure au minimum 26 cm et est de teinte gris clair. Il s'agit d'un béton. Elle possède une charge grossière de nature variée avec des granulats de teinte blanche, grise, noire et ocre (quartz blancs/gris, feldspaths gris/rosés, fragments de brique ocres). Des fragments coquillers sont également observés (coquilles de gastéropodes et de bivalves). La charge est comprise dans la classe granulaire 0/16 mm. La porosité semble hétérogène avec une face possédant de nombreux macropores mesurant en moyenne 1 mm avec quelques pores allant jusqu'à 5 mm et une face avec quelques macropores allant de 2 à 5 mm.



3.2 Echantillon ECM2

Carotte mesurant 21 cm de long et possédant trois couches, de la surface à la profondeur :

- La première correspond à une couche de peinture blanche et mesure moins de 1 mm d'épaisseur ;
- La seconde mesure environ 5 mm et correspond à un enduit de teinte blanc cassé ;
- La troisième couche, de teinte gris beige, mesure au minimum 20,5 cm et correspond à un béton. Elle possède une charge grossière de nature variée avec des granulats de teinte blanche, beige, grise, noire et ocre. Elle possède notamment des fragments de brique (ocre), des fragments de pierre (beige) et des fragments de coquille (blanc). La charge est de classe granulaire 0/35 mm. La porosité semble homogène avec des macropores allant de 1 à 5 mm d'épaisseur.

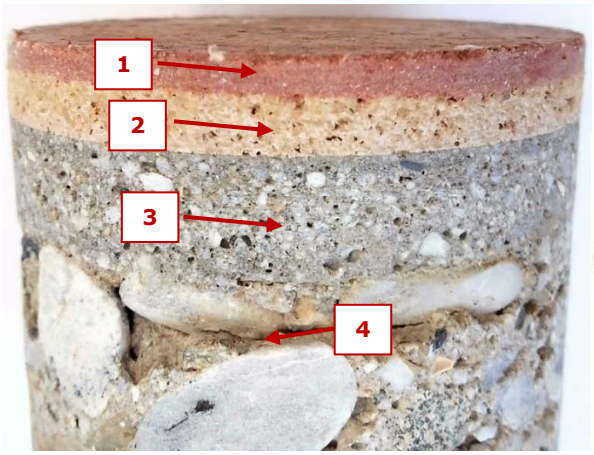


3.3 Echantillon ECM3

Carotte mesurant 9,5 cm de long et possédant quatre couches, de la surface vers la profondeur :

- La première, de teinte rouge rosé, mesure 4 mm d'épaisseur. Il s'agit probablement d'un enduit. La macroporosité est inexistante ;
- La seconde, de teinte beige ocre, mesure environ 5mm et correspond à un mortier. La charge est fine et les grains mesure jusqu'à 1 mm. Des macropores de l'ordre du millimètre de diamètre sont présents ;
- La troisième couche, de teinte gris foncé, mesure entre 1 et 1,4 mm d'épaisseur et correspond également à un mortier. La charge est fine avec des grains allant jusqu'à 2 mm
- La quatrième couche, de teinte gris beige, mesure au minimum 8 cm et correspond à un béton. Elle possède une charge grossière de nature variée avec des granulats de teinte blanche, beige, grise, noire et ocre. Des fragments de roche et des fragments de coquilles sont observés. La charge est comprise dans la classe granulaire 0/16 mm. Des macropores de l'ordre du millimètre jusqu'à environ 5 mm sont observés et de nombreuses lacunes sont également présente (manque de liant entre les granulats et lacune entre la troisième et la quatrième couche). En profondeur, le fond de la couche présente une empreinte contenant des restes de fibres probablement issues de la couche inférieure (photo en bas à droite).





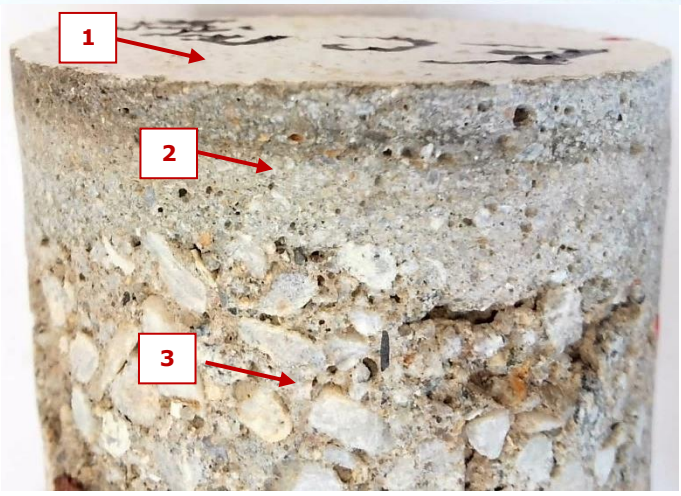


3.4 Echantillon ECM4

Carotte mesurant 16 cm de long et possédant trois couches, de la surface vers la profondeur :

- La première correspond à une couche de peinture blanche inférieure au millimètre d'épaisseur ;
- La seconde, de teinte grise, a une épaisseur hétérogène comprise entre 1,5 et 3 cm. Il s'agit d'un mortier de ragréage. La charge est fine avec des grains mesurant jusqu'à environ 1 mm. La macroporosité est comprise entre 1 et 2 mm de diamètre ;
- La troisième couche, de teinte gris beige, mesure au minimum 14,5 cm d'épaisseur. Il s'agit d'un béton. La charge est grossière et de nature variée avec des granulats de teinte blanche, beige, grise, noire et ocre. Des fragments de coquille de bivalves et de gastéropodes sont observés. La charge est comprise dans la classe granulaire 0/10 mm. Un morceau de structure métallique oxydée est également observé. Les macropores mesurent entre 1 et 5 mm de diamètre. Des lacunes de liant autour des granulats sont observé dans la partie supérieure du béton et notamment entre la deuxième et la troisième couche.





3.5 Echantillon PC1

Carotte mesurant 22,5 cm et possédant une seule couche. Il s'agit d'un béton de teinte gris beige. La charge est grossière et de nature variée avec des granulats de teinte blanche, beige, grise, noire et ocre. Des fragments de roche et de coquilles de bivalves et de gastéropodes sont observés. La charge est comprise dans la classe granulaire 0/25 mm. La macroporosité est abondante avec des pores de l'ordre du millimètre jusqu'à 5 mm. Des lacunes autour des granulats les plus grossiers sont observés. De plus, une lacune verticale semble être due à la présence d'une structure métallique (traces d'oxydation).

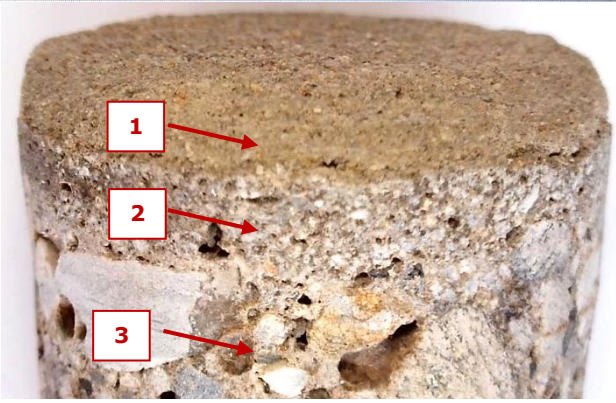


3.6 Echantillon PC2

Carotte mesurant 24 cm de long et possédant trois couches, de la surface vers la profondeur :

- La première, de teinte gris brun, mesure environ 5 mm. Il s'agit d'un mortier. La charge est très fine et mesure jusqu'à 1 mm. La porosité est abondante et les pores mesurent moins de 1 mm de diamètre ;
- La seconde, de teinte grise, a une épaisseur hétérogène comprise entre 5 et 10 mm. Il s'agit d'un mortier. La charge est fine et mesure jusqu'à 1,5 mm ;
- La troisième, de teinte gris beige, mesure au minimum 23 cm. Il s'agit d'un béton. La charge est grossière et de nature variée avec des granulats de teinte blanche, beige, grise, noire et ocre. Des fragments de roche et de coquille de bivalves sont observés. La charge est comprise dans la classe granulaire 0/25 mm.

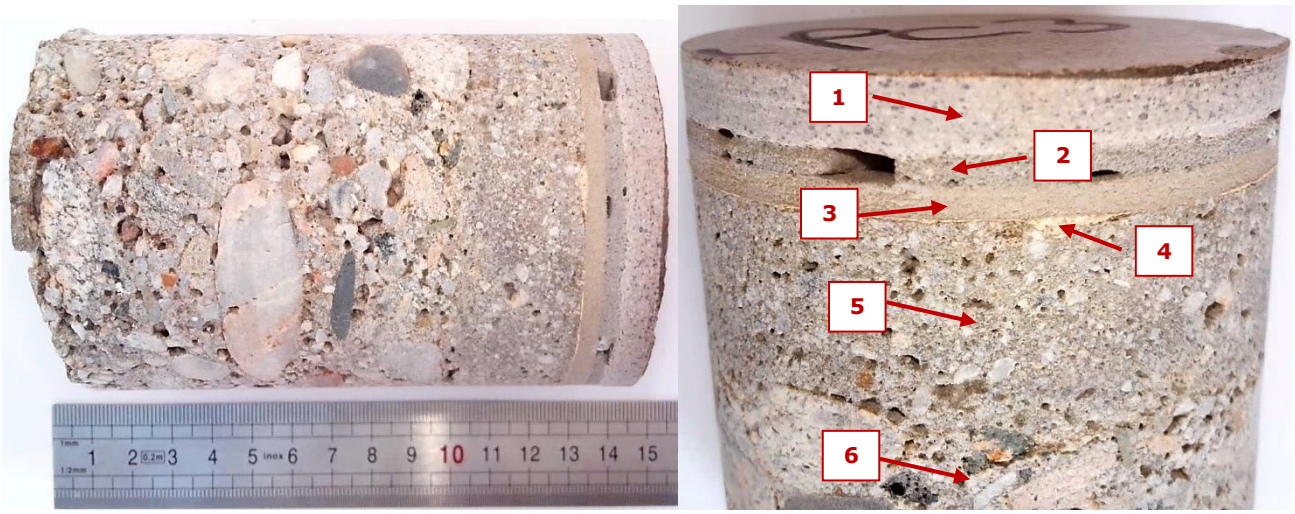




3.7 Echantillon PC3

Carotte mesurant 11,7 cm de long et possédant sept couches, de la surface vers la profondeur :

- La première, de teinte gris rosé, mesure environ 8 mm. Il s'agit d'une pierre ornementale. Elle est composée d'une matrice gris rose et comprend des grains fins, inférieurs au millimètre de diamètre, de teinte blanc cassé et noir. Aucun macropore n'est observé ;
- La seconde, de teinte gris foncé, mesure environ 3 mm d'épaisseur. Il s'agit d'un mortier. La charge est très fine et non discernable à l'œil nu (<1 mm). La porosité semble très fine (< 1mm) et quelques lacunes sont observés ;
- La troisième couche, de teinte gris beige, mesure environ 4 mm. Il s'agit également d'un mortier. La charge est très fine et non discernable à l'œil nu (<1 mm). La porosité semble encore plus fine et/ou moins abondante que la couche précédente ;
- La quatrième couche, de teinte beige orangée, mesure au maximum 1,5 mm. Il s'agit d'une couche intermédiaire d'enduit ;
- La cinquième couche, de teinte gris foncé, mesure en moyenne 2,3 cm. Il s'agit d'un mortier. La charge est de nature variée avec des grains de teinte blanche, beige, grise, noire et ocre. La charge est comprise dans la classe granulaire 0/2 mm. La macroporosité est répartie de manière irrégulière ave des pores de l'ordre du millimètre de diamètre et quelques lacunes atteignant jusqu'à 3 mm de diamètre ;
- La sixième couche, de teinte gris beige, mesure entre 7,5 et 8 cm. Il s'agit d'un béton. La charge est grossière et de nature variée avec des granulats de teinte blanche, beige, grise, verdâtre, noire et ocre. Des fragments de roche et de coquille de bivalves et de gastéropodes sont observés. La charge est comprise dans la classe granulaire 0/20 mm. La macroporosité est développée avec des pores de 1 à 5 mm de diamètre et quelques lacunes entourant les granulats les plus grossiers ;
- En profondeur, une septième couche apparait sous forme de résidus discontinu d'un enduit blanc.

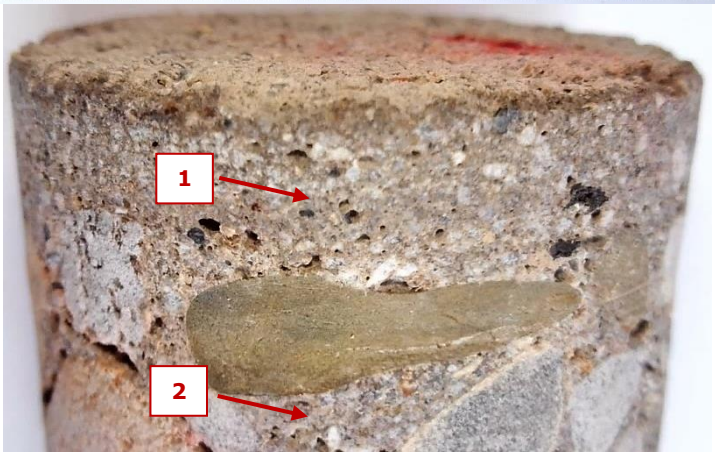


3.8 Echantillon PC4

Carotte mesurant 22 cm de long et possédant deux couches, de la surface vers la profondeur :

- La première, de teinte gris foncé, mesure entre 0,8 et 1,3 mm d'épaisseur. Il s'agit d'un mortier. La charge est fine comprise dans la classe granulaire 0/3 mm. La porosité est de l'ordre du millimètre avec quelques pores mesurant 2 mm. La surface du mortier apparait plus brune potentiellement dû à une altération de la surface ;
- La seconde, de teinte gris beige, mesure au minimum 21,5 cm. Il s'agit d'un béton. La charge est grossière et de nature variée avec des granulats de teinte blanche, beige, grise, verdâtre, noire et ocre. Des fragments de roche et de coquille de bivalves. La charge est comprise dans la classe granulaire 0/28 mm. La porosité est développée avec des pores de l'ordre du millimètre jusqu'à 6 mm. Des lacunes sont présentes autour des granulats les plus grossiers. Une zone située entre 14,5 et 17 cm présente des traces d'oxydation.



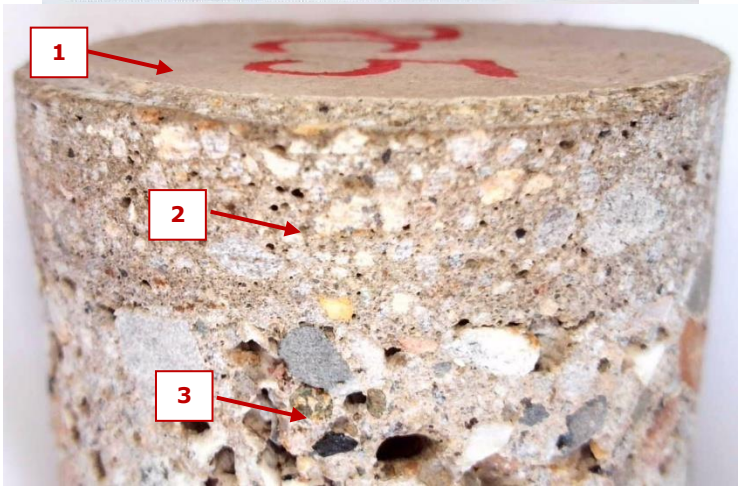


3.9 Echantillon PC5

Carotte mesurant 7,7 cm de long et possédant trois couches, de la surface vers la profondeur :

- La première, de teinte brun pâle, mesure moins de 1 millimètre. Il s'agit d'un enduit très fin ou d'une couche de peinture ;
- La seconde, de teinte gris foncé, mesure environ 1,2 cm. Il s'agit d'un mortier. La charge est fine et de nature variée avec des grains de teinte blanche, grise, noire et ocre, compris dans la classe granulaire 0/2 mm. Des macropores de l'ordre du millimètre de diamètre sont présents ;
- La troisième couche, de teinte gris beige, mesure au minimum 6,2 cm. Il s'agit d'un béton. La charge est grossière et de nature variée avec des granulats de teinte blanche, beige, verdâtre, grise, noire, ocre. La charge est comprise dans la classe granulaire 0/12 mm. La macroporosité est développée avec des pores de l'ordre du millimètre jusqu'à 3 mm de diamètre. Des lacunes sont également observées autour des granulats les plus grossiers. En profondeur, des traces d'oxydation témoignent de la présence d'une structure métallique sous le béton.





3.10 Echantillon PC6

Carotte mesurant 10,5 cm de long et possédant six couches, de la surface vers la profondeur :

- La première, de teinte bleue en surface et noire en profondeur, mesure 7 mm d'épaisseur. Il s'agit d'une couche de revêtement de sol type linoléum ;
- La seconde, de teinte rouge brique, mesure moins d'un millimètre. Il s'agit probablement d'une colle pour fixer le linoléum au substrat ;
- La troisième couche, de teinte brune, mesure environ 5 mm. Il s'agit d'un mortier. La charge est très fine avec des grains inférieurs au millimètre presque non discernables à l'œil nu. La macroporosité est très faible avec de rares pores de l'ordre du millimètre de diamètre ;
- La quatrième couche, de teinte beige sable, mesure environ 1 cm d'épaisseur. Il s'agit d'un mortier. La charge est fine (<1 mm) et la porosité est de l'ordre du millimètre de diamètre ;
- La cinquième couche, de teinte gris foncé, mesure 1,6 mm d'épaisseur. Il s'agit d'un mortier. La charge est fine avec des grains principalement blanc et gris compris dans la classe granulaire 0/3 mm. Les pores ont un diamètre compris entre moins de 1 mm et 2 mm ;
- La sixième couche, de teinte gris beige, mesure environ 6,5 cm. Il s'agit d'un béton. La charge est grossière avec des granulats de nature variée de teinte blanche, beige, grise, noire et ocre. Des fragments de roche et de coquille de bivalves sont observés. La charge est comprise dans la classe granulaire 0/15 mm. La macroporité est très développée avec des pores atteignant jusqu'à 5 mm et de nombreuses lacunes pluri-millimétriques autour des granulats grossiers. En profondeur, des traces d'enduit blanc sont observées sous le béton.

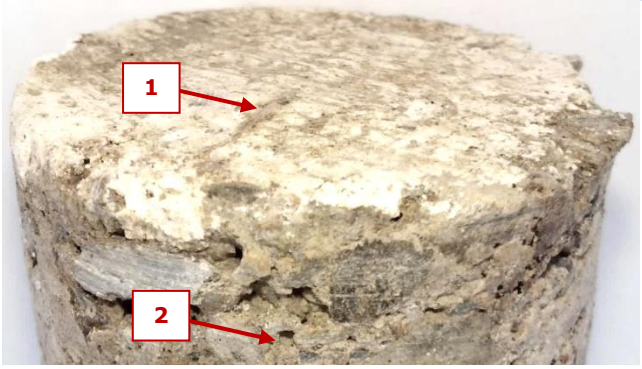


3.11 Echantillon PC7

Carotte mesurant 14,5 cm de long et possédant trois couches, de la surface vers la profondeur :

- La première, de teinte blanche (surface sale), mesure 1 à 2 mm d'épaisseur. Il s'agit d'une couche d'enduit ;
- La seconde, de teinte gris beige, mesure environ 11 cm. Il s'agit d'un béton. La charge est grossière et de nature variée avec des granulats de teinte blanche, grise, beige, noire et ocre. La charge est comprise dans la classe granulaire 0/15 mm. La macroporosité est comprise entre 1 et 5mm avec de nombreuses lacunes autour des granulats les plus grossiers
- La troisième couche, de teinte noire, mesure 3,5 cm d'épaisseur. Il s'agit d'une couche d'étanchéité bitumineuse ou asphaltée en surface d'un toit terrasse.





3.12 Echantillon PC8

Carotte mesurant environ 20 cm de long et possédant quatre couches :

- La première, de teinte blanche, correspond à un enduit très fin (~1 mm) ;
- La seconde, de teinte gris beige, mesure environ 15 cm. Il s'agit d'un béton. La charge est grossière et de nature variée avec des granulats de teinte blanche, beige, grise, noire et ocre. Des fragments de roche, de coquille de bivalves et de gastéropodes sont observés. La charge est comprise dans la classe granulaire 0/20 mm. La macroporosité possède majoritairement des pores de 1 à 3 mm ;
- La troisième couche, de teinte gris foncé, mesure 1,2 cm d'épaisseur. Il s'agit d'un mortier. La charge est fine avec des grains majoritairement gris et blancs compris dans la classe granulaire 0/2 mm. Quelques macropores de l'ordre du millimètre sont présents ;
- La quatrième couche, de teinte noire, mesure 4 cm d'épaisseur. Elle est dense et non poreuse avec une lacune pluri-centimétrique en son cœur. Il s'agit d'une couche d'étanchéité bitumineuse ou asphaltée en surface d'un toit terrasse.



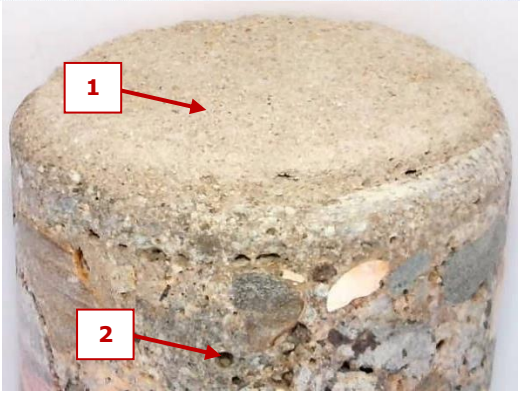


3.13 Echantillon CA1

Carotte mesurant environ 17,8 cm et possédant deux couches, de la surface vers la profondeur :

- La première, de teinte beige brun, mesure environ 4 mm. Il s'agit d'un mortier. La charge est très fine (<1 mm) et des pores inférieurs au millimètre sont présents ;
- La seconde, de teinte gris beige, mesure au minimum 17,5 mm. Il s'agit d'un béton. La charge est grossière et de nature variée avec des granulats de teinte blanche, beige, grise, noire et ocre. Des fragments de roche et de coquille de bivalves et de gastéropodes sont observés. La charge est comprise dans la classe granulaire 0/25 mm. Les macropores sont inférieurs à 3 mm avec quelques lacunes autour de certains granulats.



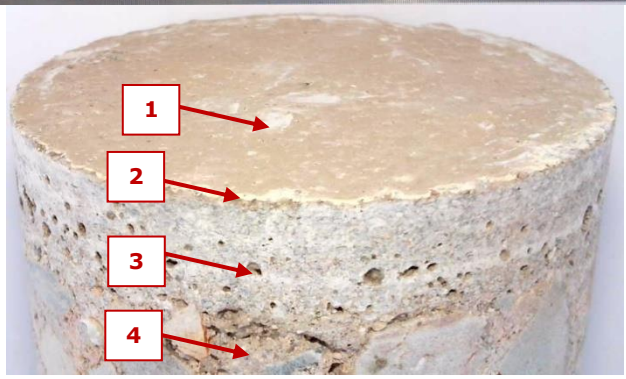


3.14 Echantillon CA2

Carotte mesurant 16 cm de long et possédant quatre couches, de la surface vers la profondeur :

- La première, de teinte brun pâle, correspond à une couche de peinture (<1 mm) ;
- La seconde, de teinte blanc cassé, correspond à un enduit très fin (<1 mm) ;
- La troisième couche, de teinte grise, mesure en moyenne 1,5 cm d'épaisseur. La charge est fine et composée majoritairement de grains blancs et gris compris dans la classe granulaire 0/2 mm. Les pores présents mesurent 1 à 2 mm et sont répartis de manière hétérogène (surtout en profondeur) ;
- La quatrième couche, de teinte gris beige, mesure au minimum 14,5 cm. Il s'agit d'un béton. La charge est grossière avec des granulats de teinte blanche, grise et rosée principalement. Des fragments de coquille de gastéropodes sont observés. La charge est comprise dans la classe granulaire 0/15 mm. Les macropores sont répartis de manière homogène et mesure moins de 1 mm jusqu'à 5 mm. En sub-surface quelques lacunes et traces d'oxydation sont observées.



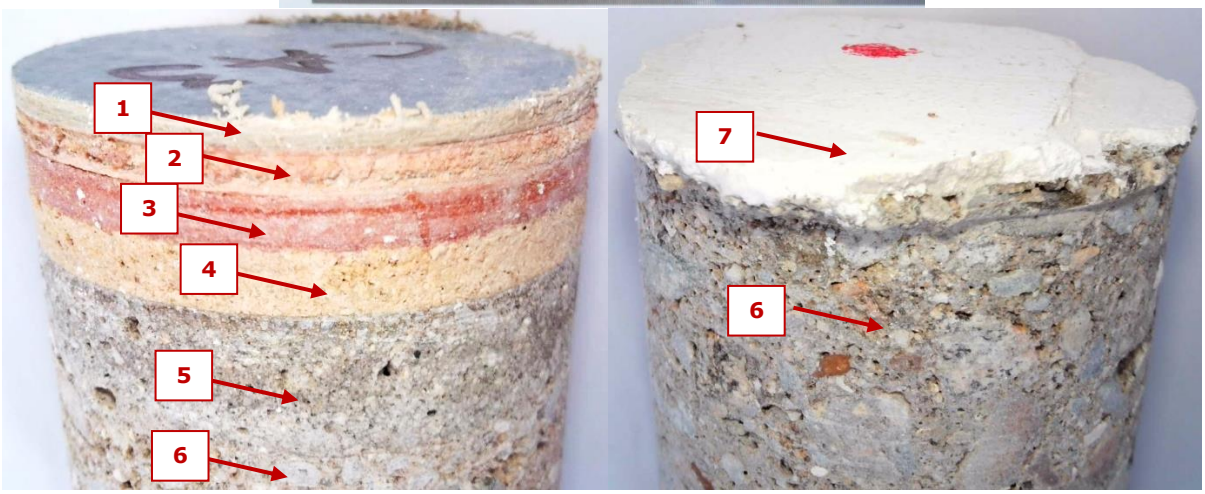


3.15 Echantillon CA3

Carotte mesurant 13 cm de long et possédant sept couches, de la surface vers la profondeur :

- La première, de teinte bleue à la surface et beige en profondeur, mesure environ 4 mm d'épaisseur. Il s'agit d'une couche de revêtement de sol de type linoleum ;
- La seconde, de teinte orange, mesure 4 mm. Il s'agit d'un enduit. Aucun grain n'est visible à l'œil nu ;
- La troisième couche, de teinte rouge brique, mesure 7 mm d'épaisseur. Il s'agit d'un mortier. La charge est très fine (<1 mm) et des micropores inférieurs au millimètre sont présents ;
- La quatrième couche, de teinte beige sable, mesure en moyenne 7 mm. La charge est fine, jusqu'à 1 mm, et les pores sont de l'ordre du millimètre de diamètre ;
- La cinquième couche, de teinte gris foncé, mesure entre 1,5 et 1,8 cm. La charge est fine (0/2 mm), de teinte blanche, grise et beige, et des macropores allant jusqu'à 2 mm de diamètre sont présents ;
- La sixième couche, de teinte gris beige, mesure 9 cm. Il s'agit d'un béton. La charge est grossière avec des granulats de teinte blanche, beige, grise, noire et ocre. Des fragments de roche et de coquille de bivalves sont présents. La charge est comprise dans la classe granulométrique 0/30 mm ;
- La septième couche, de teinte blanche, mesure 7 mm. Elle est composée de deux couches d'enduit.

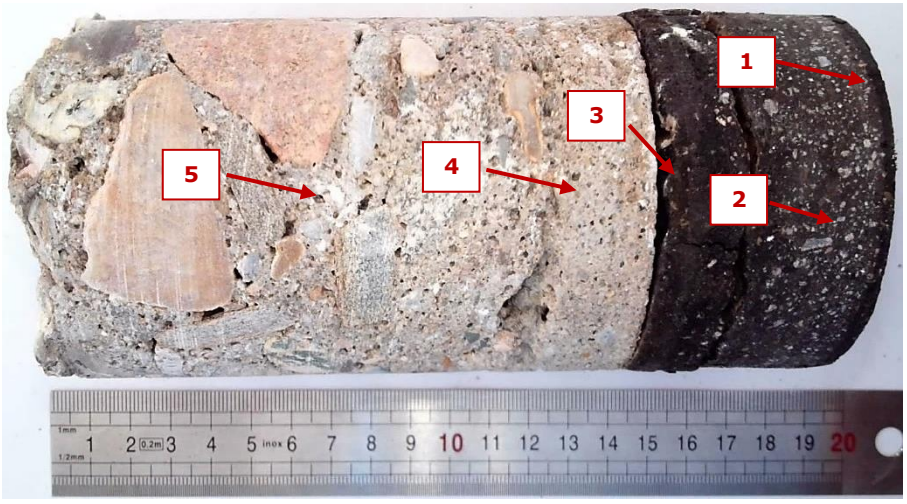




3.16 Echantillon CA5 (stratigraphie à vérifier)

Carotte mesurant environ 15,5 cm de long et possédant cinq couches, décrites de la surface vers la profondeur. En surface, des restes de fibres brun vert sont observés.

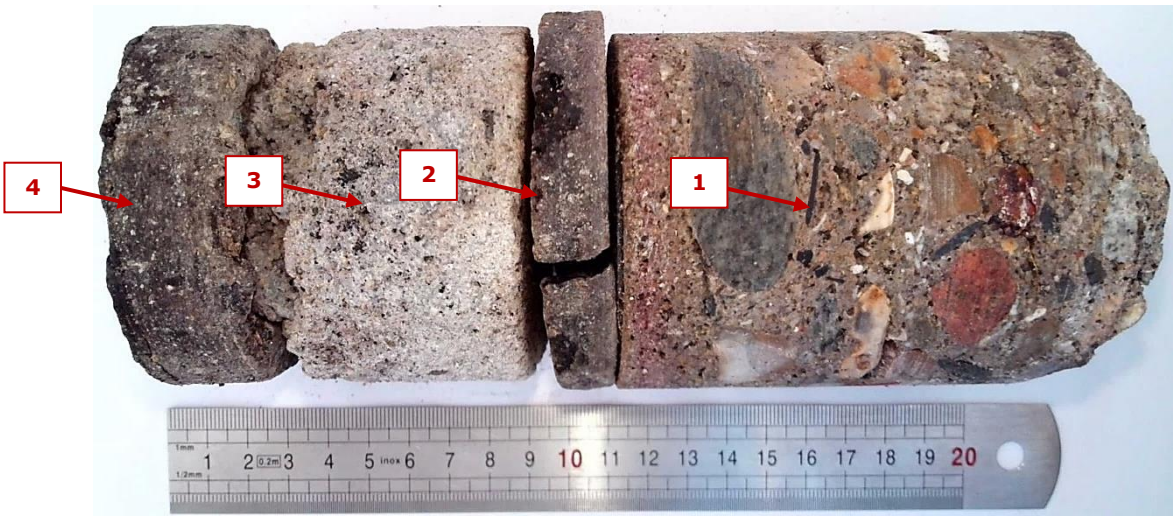
- La première couche, de teinte noire, mesure 3 mm. Elle est dense, sans charge ni porosité. Il s'agit d'une couche d'étanchéité bitumineuse ou asphaltée en surface d'un toit terrasse.
- La seconde couche, de teinte noire, mesure environ 2,2 cm. Il s'agit d'un mortier. La charge est fine (0/2 mm) de teinte blanche et grise et la macroporosité est faible avec quelques pores inférieurs au millimètre de diamètre.
- La troisième couche, de teinte noire, mesure 1,3 cm. Elle est dense, sans charge ni porosité et semblable à la première couche.
- La quatrième couche, de teinte grise, mesure entre 1,5 et 2 cm. Il s'agit d'un mortier. La charge est fine (0/2 mm) avec des grains de teinte blanche et grise. La macroporosité est développée avec des pores allant jusqu'à 2 mm
- La cinquième couche, de teinte gris beige, mesure entre 9,5 et 10 cm d'épaisseur. Il s'agit d'un béton. La charge est grossière avec des granulats de teinte blanche, beige, grise, noire, ocre et rouge brique. Des fragments de roche et de coquille de bivalves sont observés. La charge est comprise dans la classe granulaire 0/35 mm. Les macropores mesurent jusqu'à 5 mm de diamètre avec des lacunes autour des granulats grossiers en subsurface. En profondeur, des empreintes de fibres sont visible dans le ciment.



3.17 Echantillon CA6

Carotte mesurant 19 cm de long et possédant quatre couches, de la surface vers la profondeur :

- En surface des empreintes de fibres sont visibles dans le ciment de la première couche. Cette dernière, de teinte gris beige, mesure environ 10 cm de long. Il s'agit d'un béton. La charge est grossière avec des granulats de teinte blanche, beige, grise, noire et ocre. Des fragments de roches et de coquille de bivalves sont observés. La charge est comprise dans la classe granulaire 0/20 mm. Des fragments de roche et de coquille de bivalves sont observés ainsi que quelques lacunes autour de ces derniers. En profondeur de cette couche, sur 1,5 cm d'épaisseur, le béton est dénué de charge grossière (0/2 mm) ;
- La seconde couche, de teinte noire, mesure environ 1,2 cm d'épaisseur. Elle est dense, possède une charge fine (0/2 mm) et quelques macropores de l'ordre du millimètre d'épaisseur ;
- La troisième couche, de teinte gris clair, mesure environ 5,4 cm d'épaisseur. Il s'agit d'un béton. La charge est moyenne (0/5 mm) avec des granulats de teinte blanche, beige et grise. La porosité est développée avec des macropores de l'ordre du millimètre jusqu'à 5 mm. Le dernier centimètre de profondeur possède de nombreuses lacunes ;
- la quatrième couche, de teinte noire, mesure environ 2,5 cm d'épaisseur. Elle est dense, dénuée de charge et de porosité. Sous la couche, l'aspect du matériau est vitreux. Il s'agit d'une couche d'étanchéité bitumineuse ou asphaltée en surface d'un toit terrasse.



4 Résultats

4.1 Etude en microscopie électronique à balayage

4.1.1 Echantillon PC1 (0 à 40 mm)

Référence échantillon : 25079-1 (PC1 – 0 à 40 mm)

Observations macroscopiques

Béton de teinte grise, sa charge minérale est composée d'un sable 0/4 et d'un gravier 4/16. Des macropores (de l'ordre du millimètre) sont visibles sur toute la surface de l'échantillon. L'échantillon est non friable.



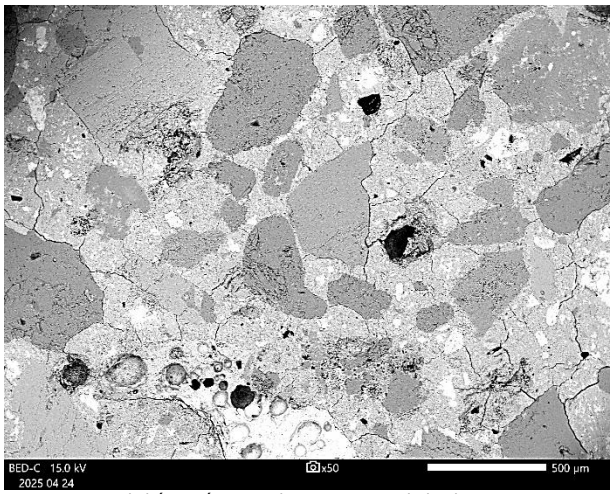
Cliché à la loupe binoculaire en lumière naturelle de la section polie (x20)

Observations et analyses en microscopie électronique à balayage

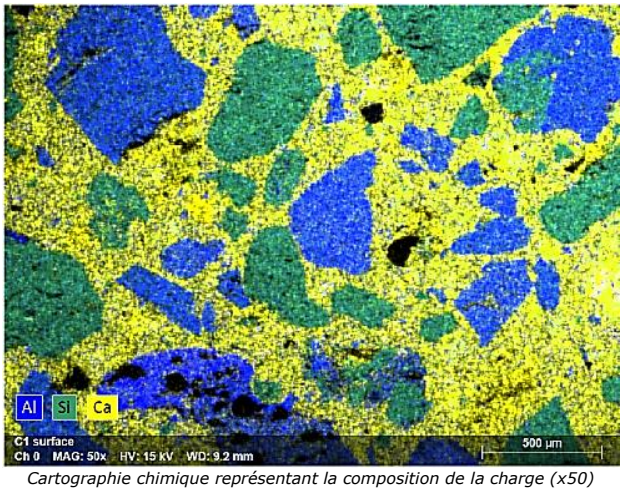
L'échantillon présente une microporosité significative sur toute la section polie. Un fin réseau de fissuration (ordre du micron) est visible à l'interface entre la matrice et les grains et de grain à grain.

La charge est moyenne (grains jointifs ponctuellement) et homogène sur toute la surface de la section polie. La morphologie de la charge est variable, de subanguleuse à arrondie. La charge est silicatée, composée majoritairement de quartz et de quelques feldspaths. Du charbon et du tuileau sont également retrouvés dans la charge.

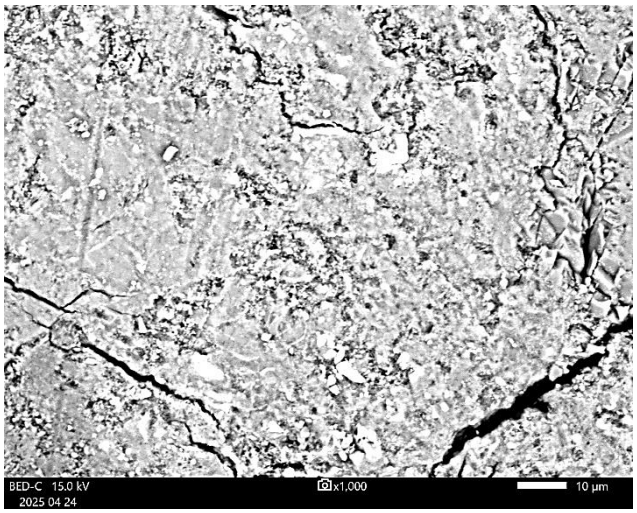
Le liant est hydraulique, avec un ratio SiO_2 sur CaO de l'ordre de 0,2-0,4. Le liant contient également de l'aluminium en faible quantité ainsi que des traces de magnésium, de potassium, de sodium, de soufre et de fer. Des anhydres de type C2S/C3S sont détectés sur toute la surface de l'échantillon, ainsi que des laitiers indiquant l'emploi de ciment de type CEM II. Des traces de chlore sont détectées sur toute la surface de la section polie, plus concentrée sur le premier centimètre avec des cristallisations de halite (NaCl) visibles. Aucune alcali-réaction ni réaction sulfatique n'est détectée.



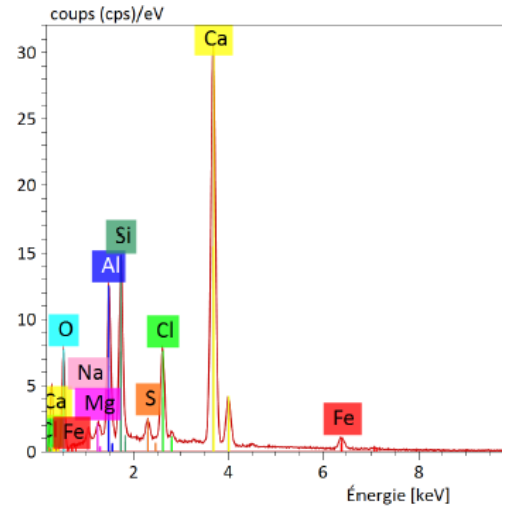
Cliché représentant la composition de la charge au microscope électronique à balayage (x50)



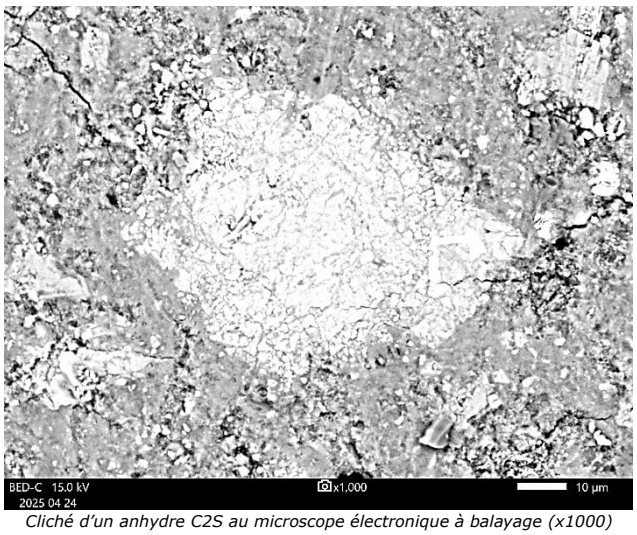
Cartographie chimique représentant la composition de la charge (x50)



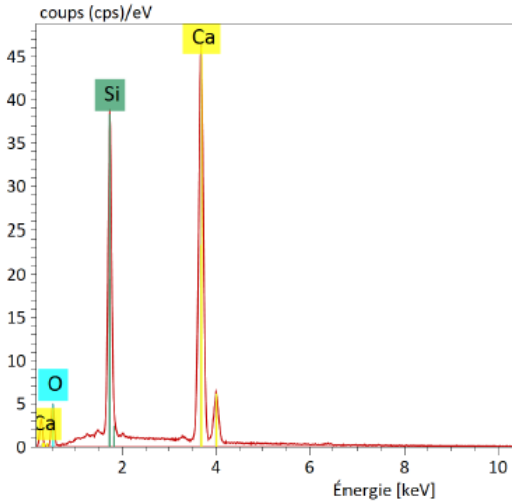
Cliché de la matrice au microscope électronique à balayage (x1000)



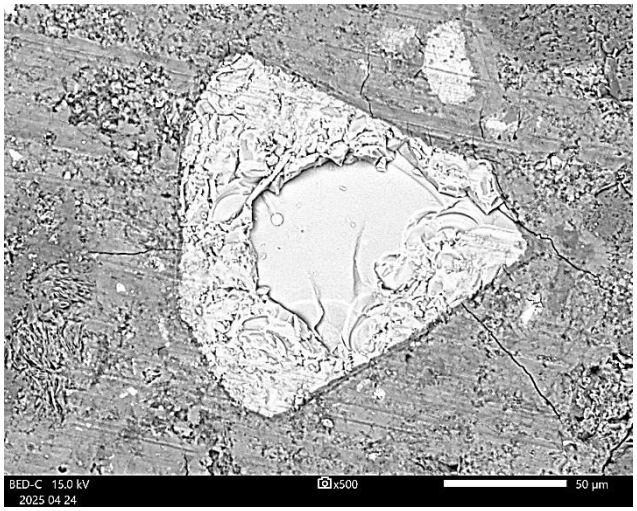
Analyses chimiques par microfluorescence de rayons X de la matrice



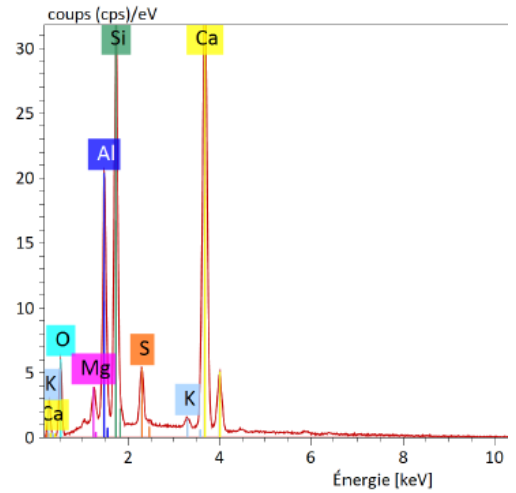
Cliché d'un anhydre C2S au microscope électronique à balayage (x1000)



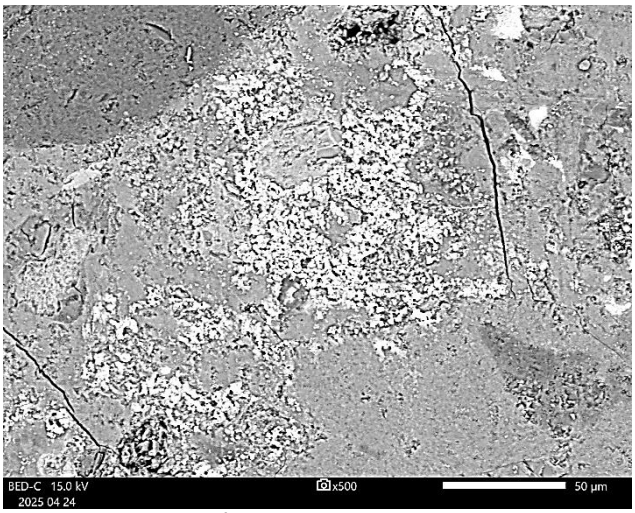
Analyses chimiques par microfluorescence de rayons X d'un anhydre C2S



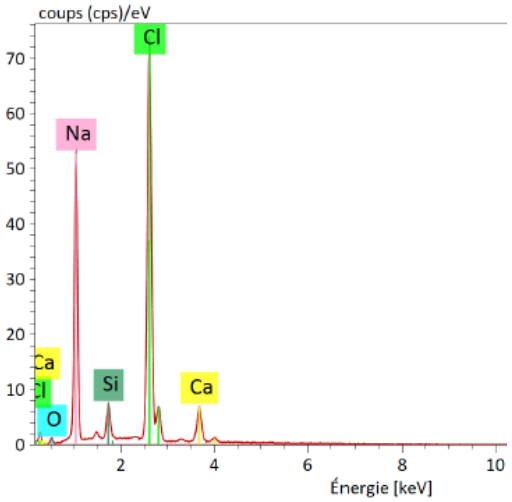
Cliché d'un laitier de haut fourneau
au microscope électronique à balayage (x500)



Analyses chimiques par microfluorescence de rayons X
d'un laitier de haut fourneau



Cliché d'une cristallisation de NaCl
au microscope électronique à balayage (x500)



Analyses chimiques par microfluorescence de rayons X
d'une cristallisation de NaCl

4.1.2 Echantillon PC1 (140 à 180 mm)

Référence échantillon : 25079-1 (PC1 – 140 à 180 mm)

Observations macroscopiques

Béton de teinte grise, sa charge minérale est composée d'un sable 0/4 et d'un gravier 4/16. Des macropores (de l'ordre du millimètre) sont visibles sur toute la surface de l'échantillon. L'échantillon est non friable.



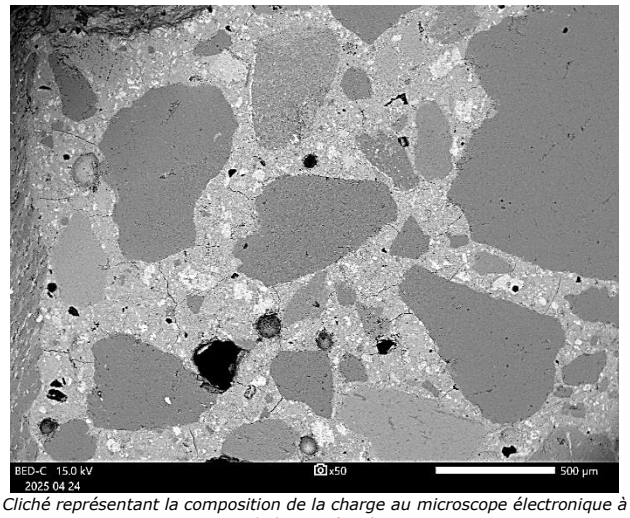
Cliché à la loupe binoculaire en lumière naturelle
de la section polie (x20)

Observations et analyses en microscopie électronique à balayage

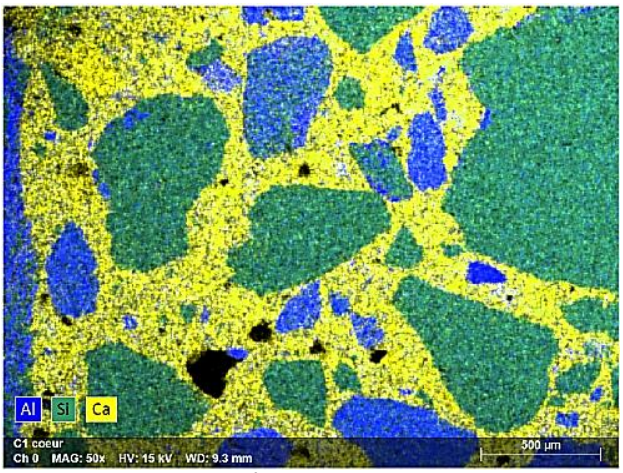
L'échantillon présente une microporosité significative sur toute la section polie. Un fin réseau de fissuration (ordre du micron) est visible dans la matrice et de grain à grain.

La charge est moyenne (grains jointifs ponctuellement) et homogène sur toute la surface de la section polie. La morphologie de la charge est variable, de subanguleuse à arrondie. La charge est silicatée, composée majoritairement de quartz et de quelques feldspaths. Du charbon et du tuileau sont également retrouvés dans la charge.

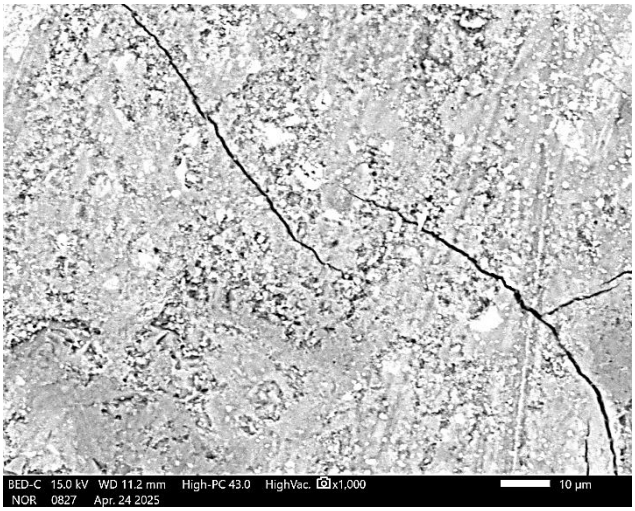
Le liant est hydraulique, avec un ratio SiO_2 sur CaO de l'ordre de 0,2-0,4. Le liant contient également de l'aluminium et du soufre en faible quantité ainsi que des traces de magnésium, de potassium, de sodium, et de fer. Des anhydres de type C2S/C3S sont détectés sur toute la surface de l'échantillon, ainsi que des laitiers indiquant l'emploi de ciment de type CEM II. Aucune alcali-réaction ni réaction sulfatique n'est détectée.



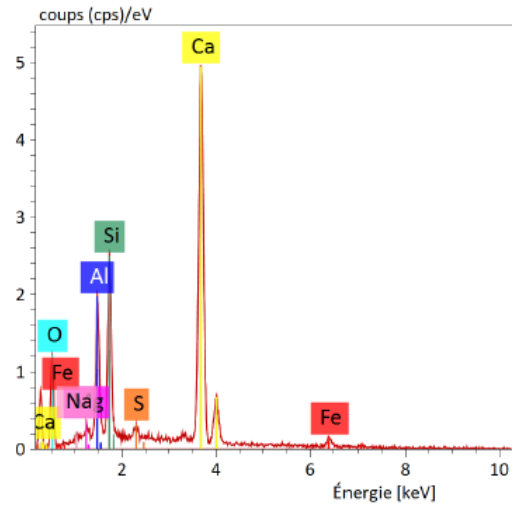
Cliché représentant la composition de la charge au microscope électronique à balayage (x50)



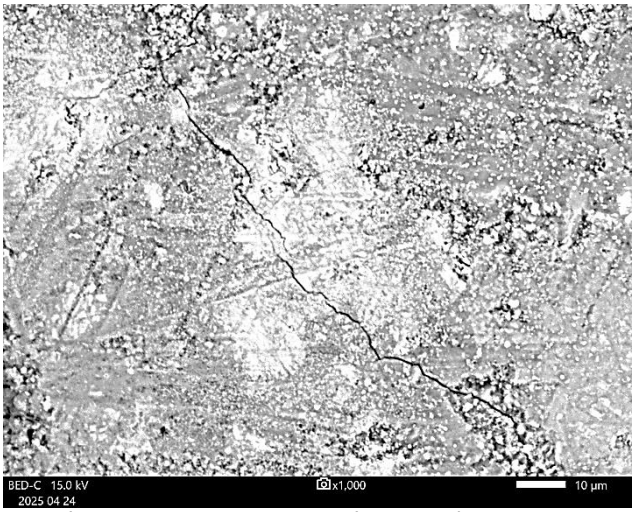
Cartographie chimique représentant la composition de la charge (x50)



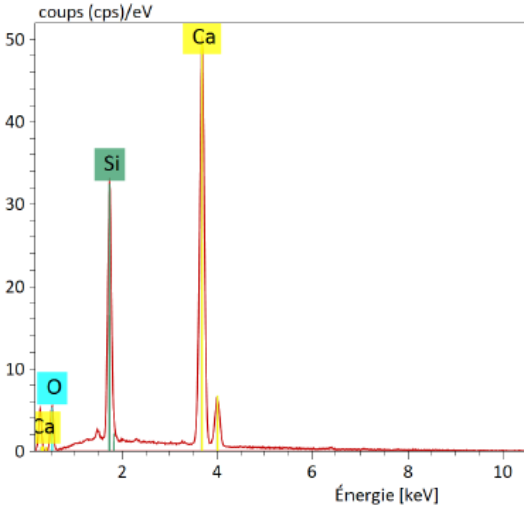
Cliché de la matrice au microscope électronique à balayage (x1000)



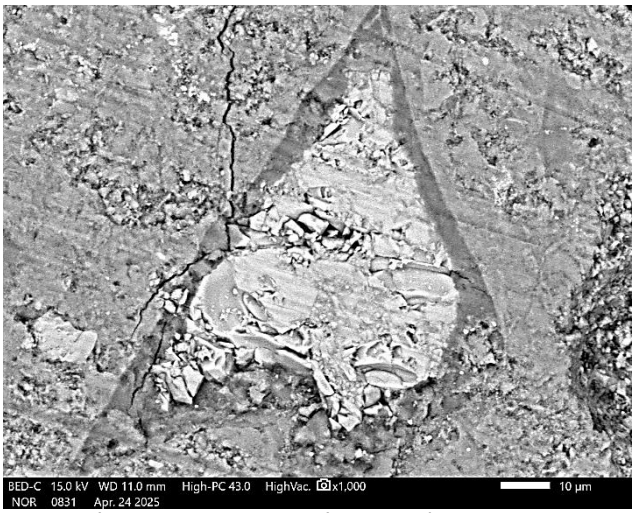
Analyses chimiques par microfluorescence de rayons X de la matrice



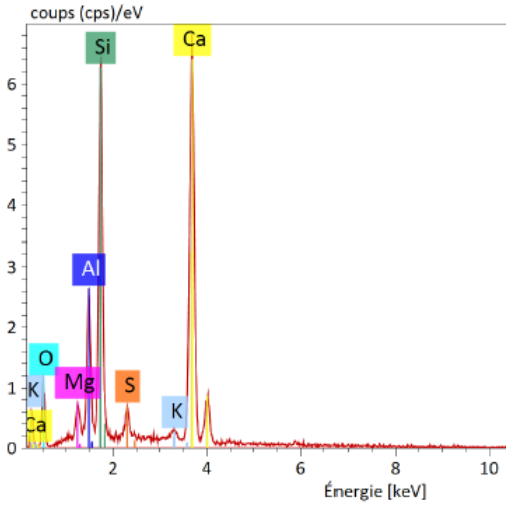
Cliché d'un anhydre C2S au microscope électronique à balayage (x1000)



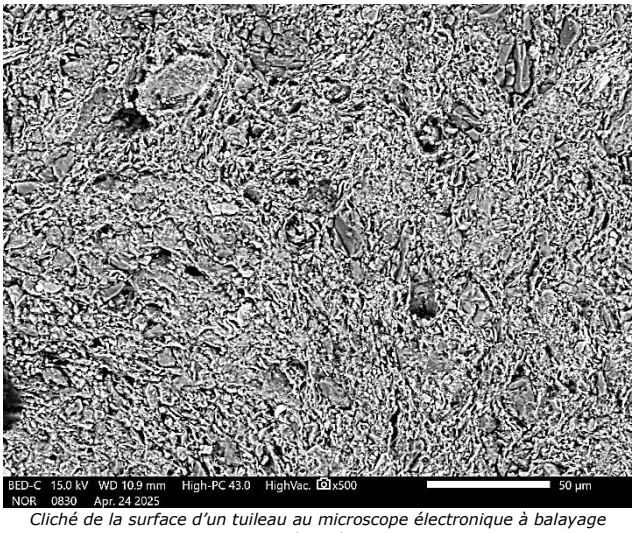
Analyses chimiques par microfluorescence de rayons X d'un anhydre C2S



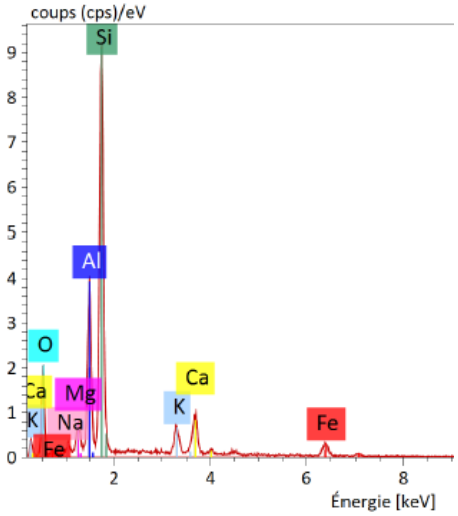
Cliché d'un laitier au microscope électronique à balayage (x1000)



Analyses chimiques par microfluorescence de rayons X d'un laitier



Cliché de la surface d'un tuileau au microscope électronique à balayage (x500)



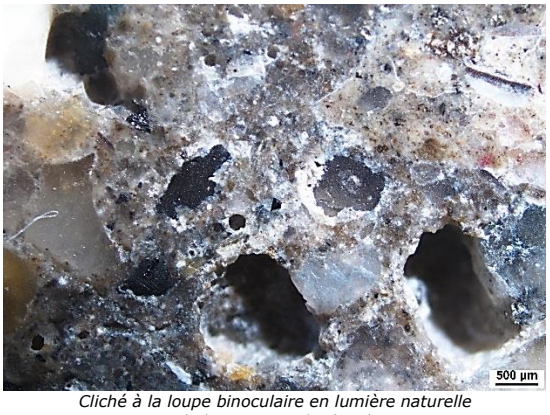
Analyses chimiques par microfluorescence de rayons X d'un tuileau

4.1.3 Echantillon PC2 (0 à 40 mm)

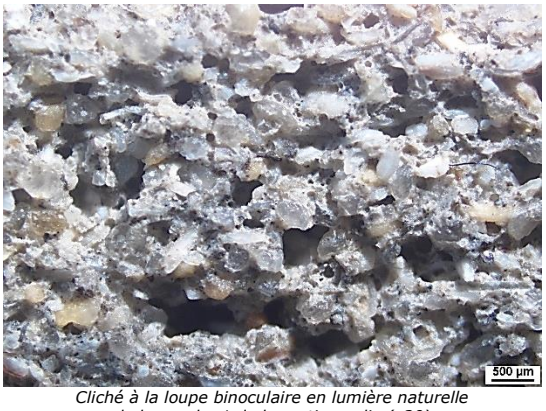
Référence échantillon : 25079-2 (PC2 – 0 à 40 mm)

Observations macroscopiques

Béton de teinte grise, sa charge minérale est composée d'un sable 0/4 et d'un gravier 4/10. Des macropores (de l'ordre du millimètre) sont visibles sur toute la surface de l'échantillon. Deux couches sont présentes à la surface, du substrat vers la surface : La première couche mesure 7 mm, est de teinte grise avec des grains 0/4. La deuxième mesure 5 mm d'épaisseur, est de teinte grise, très poreuse et friable. Des grains sub-millimétriques sont visibles.



Cliché à la loupe binoculaire en lumière naturelle de la section polie (x20)



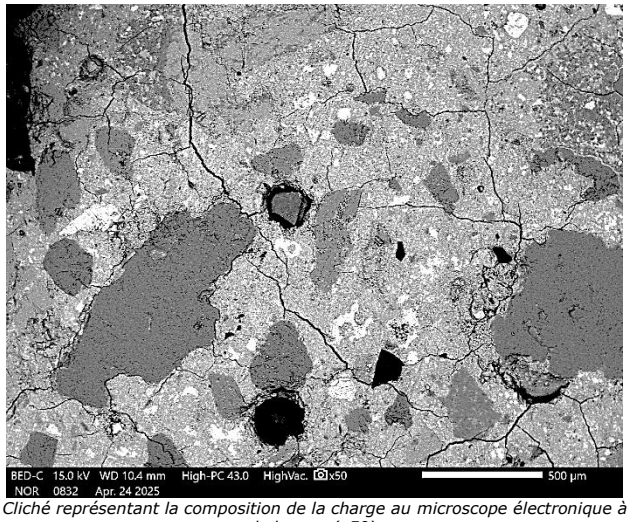
Cliché à la loupe binoculaire en lumière naturelle de la couche 1 de la section polie (x20)

Observations et analyses en microscopie électronique à balayage

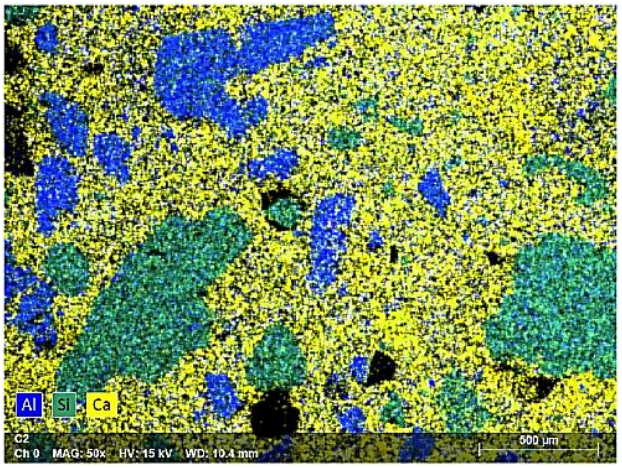
La couche de béton présente une microporosité significative sur toute la section polie. Un réseau de fissuration (ordre du micron) très développé est visible dans la matrice et de grain à grain.

La charge est moyenne (grains jointifs ponctuellement) et homogène sur toute la surface de la section polie. La morphologie de la charge est variable, de subanguleuse à arrondie. La charge est silicatée, composée majoritairement de quartz et de quelques feldspaths. Du charbon est également retrouvé dans la charge.

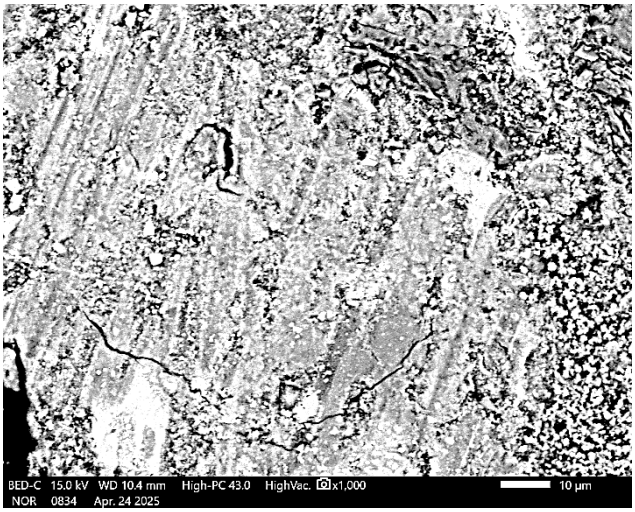
Le liant est hydraulique, avec un ratio SiO_2 sur CaO de l'ordre de 0,2-0,4. Le liant contient également de l'aluminium et du soufre en faible quantité ainsi que des traces de magnésium, de potassium, de sodium, et de fer. Des anhydres de type C2S/C3S sont détectés sur toute la surface de l'échantillon, ainsi que des laitiers indiquant l'emploi de ciment de type CEM II.
La composition de la couche 1 est similaire à celle de profondeur, avec un ratio SiO_2/CaO légèrement plus faible : 0,2-0,3. La couche 2 présente un ratio encore plus faible : 0,1-0,2, mais une chimie similaire par ailleurs. Ces couches correspondent donc à des mortiers de ciment.
Du chlore est identifié en quantité importante sur toute la surface de la section polie. Une concentration plus importante est retrouvée à l'interface entre la couche 1 et le support béton avec de grandes plages de cristallisation de NaCl. Aucune alcali-réaction ni réaction sulfatique n'est détectée.



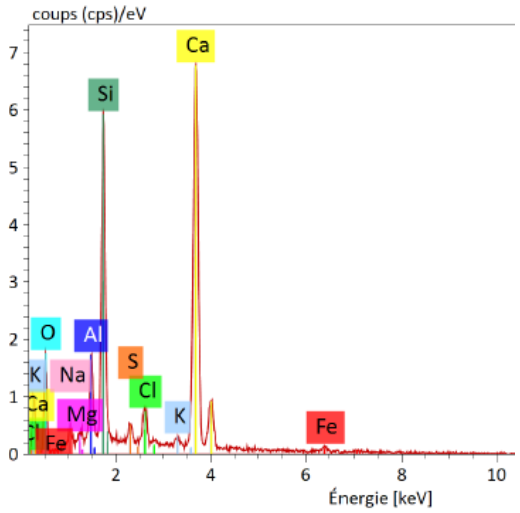
Cliché représentant la composition de la charge au microscope électronique à balayage (x50)



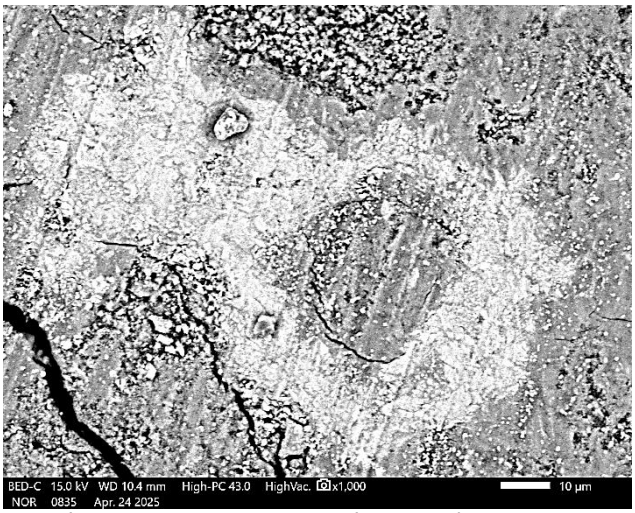
Cartographie chimique représentant la composition de la charge (x50)



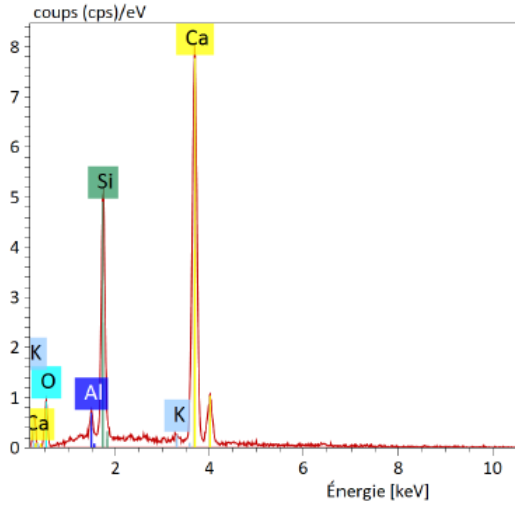
Cliché de la matrice au microscope électronique à balayage (x1000)



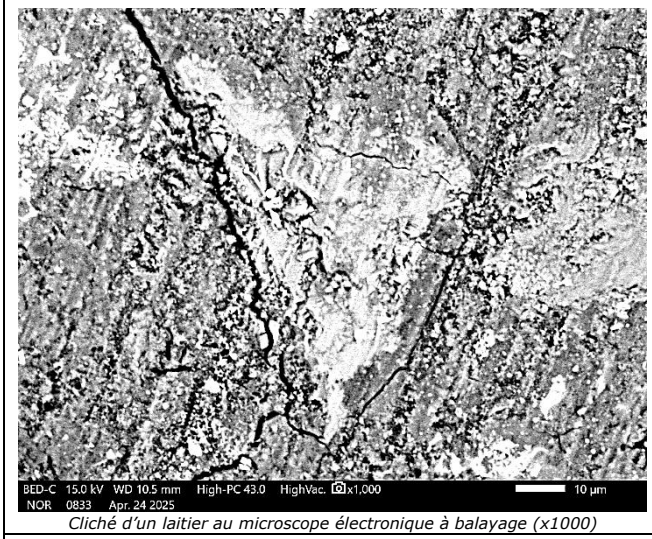
Analyses chimiques par microfluorescence de rayons X de la matrice



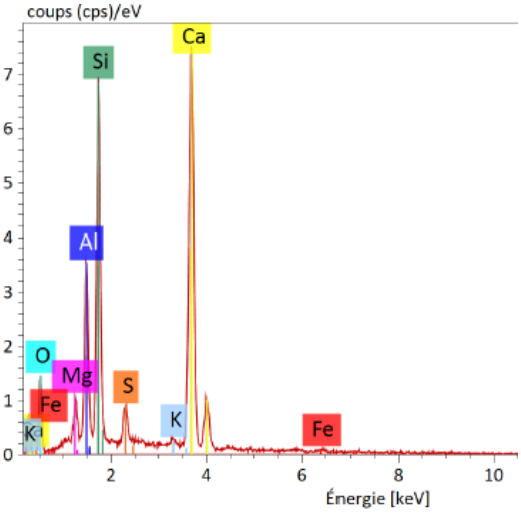
Cliché d'un anhydre C2S au microscope électronique à balayage (x1000)



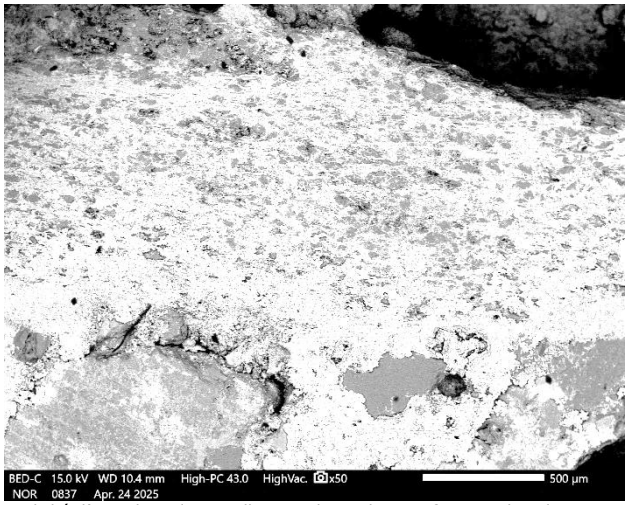
Analyses chimiques par microfluorescence de rayons X d'un anhydre C2S



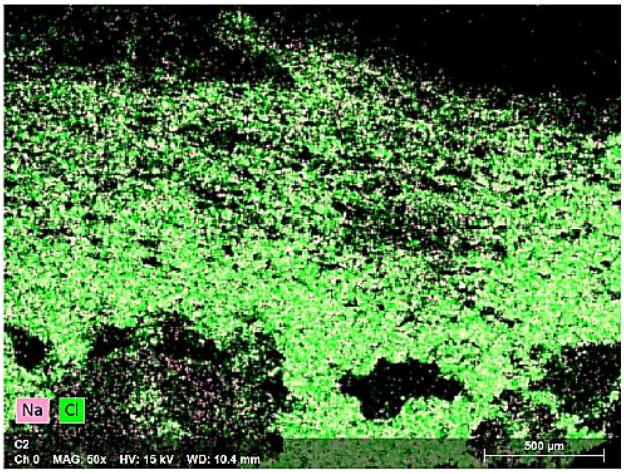
Cliché d'un laitier au microscope électronique à balayage (x1000)



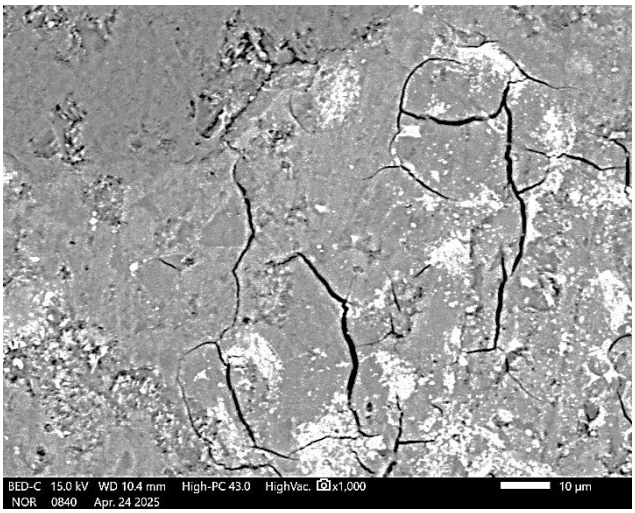
Analyses chimiques par microfluorescence de rayons X d'un laitier



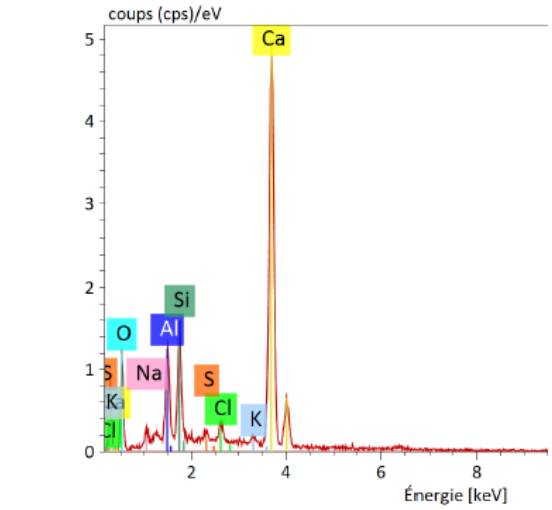
Cliché d'une plage de cristallisation de NaCl – interface couche 1/support béton au microscope électronique à balayage (x50)



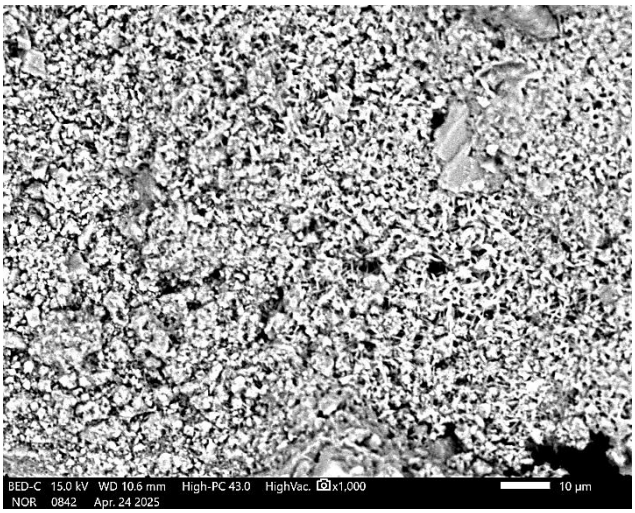
Cartographie chimique d'une plage de cristallisation de NaCl (x50)



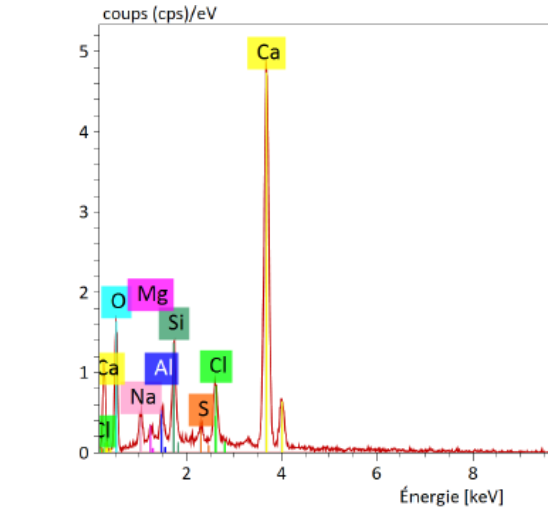
Cliché de la matrice de la couche 1 au microscope électronique à balayage (x1000)



Analyses chimiques par microfluorescence de rayons X de la matrice de la couche 1



Cliché de la matrice de la couche 2 au microscope électronique à balayage (x1000)



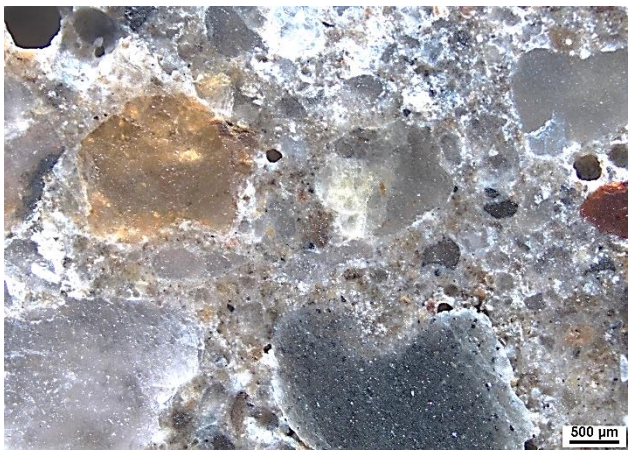
Analyses chimiques par microfluorescence de rayons X de la matrice de la couche 2

4.1.4 Echantillon PC2 (60 à 100 mm)

Référence échantillon : 25079-2 (PC2 – 60 à 100 mm)

Observations macroscopiques

Béton de teinte gris-bleu, sa charge minérale est composée d'un sable 0/4 et d'un gravier 4/16. Des macropores (de l'ordre du millimètre) sont visibles sur toute la surface de l'échantillon.



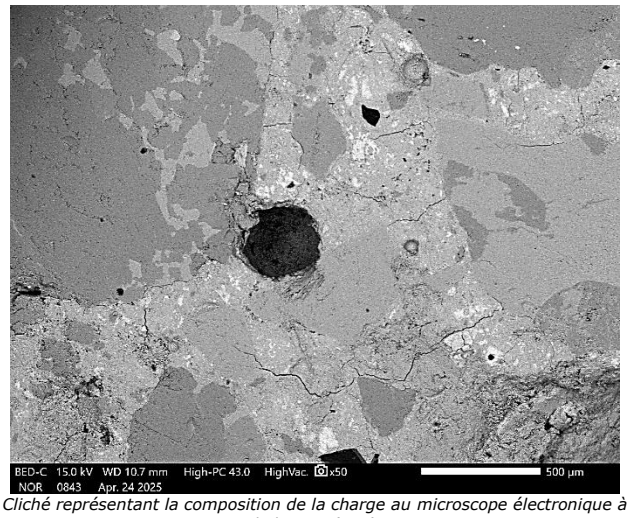
Cliché à la loupe binoculaire en lumière naturelle de la section polie (x20)

Observations et analyses en microscopie électronique à balayage

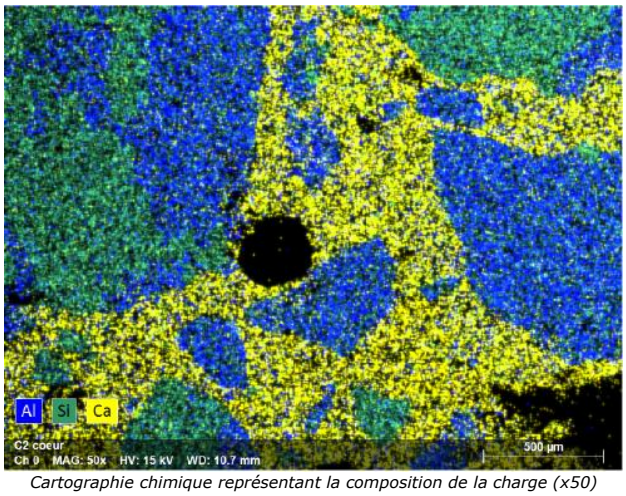
L'échantillon présente une microporosité significative sur toute la section polie. Un réseau de fissuration (ordre du micron) très développé est visible dans la matrice et de grain à grain.

La charge est moyenne (grains jointifs ponctuellement) et homogène sur toute la surface de la section polie. La morphologie de la charge est variable, de subanguleuse à arrondie. La charge est silicatée, composée majoritairement de quartz et de quelques feldspaths. Du charbon est également retrouvé dans la charge.

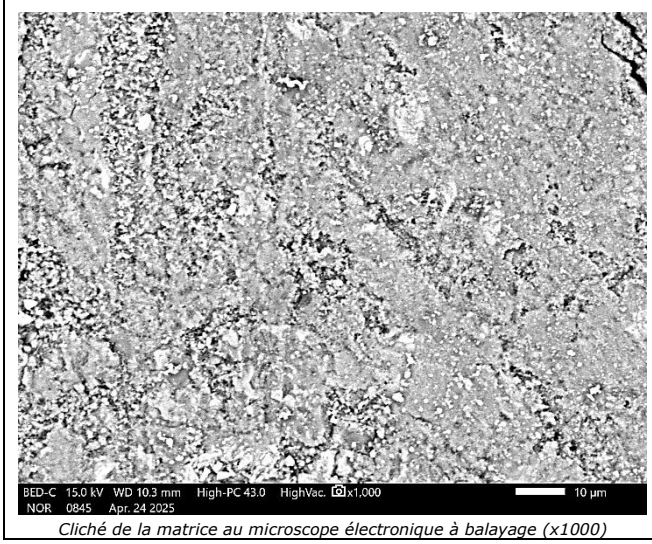
Le liant est hydraulique, avec un ratio SiO_2 sur CaO de l'ordre de 0,3. Le liant contient également de l'aluminium et du soufre en faible quantité ainsi que des traces de magnésium, de potassium, de sodium, et de fer. Des anhydres de type C2S/C3S sont détectés sur toute la surface de l'échantillon, ainsi que des laitiers indiquant l'emploi de ciment de type CEM II.
Du chlore est identifié de façon ponctuelle sur la section. Aucune alcali-réaction ni réaction sulfatique n'est détectée.



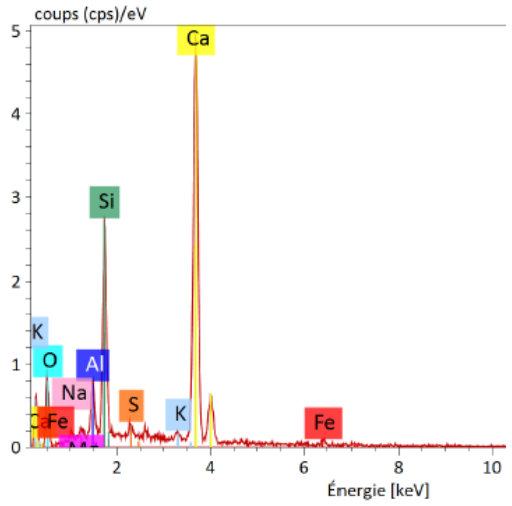
Cliché représentant la composition de la charge au microscope électronique à balayage (x50)



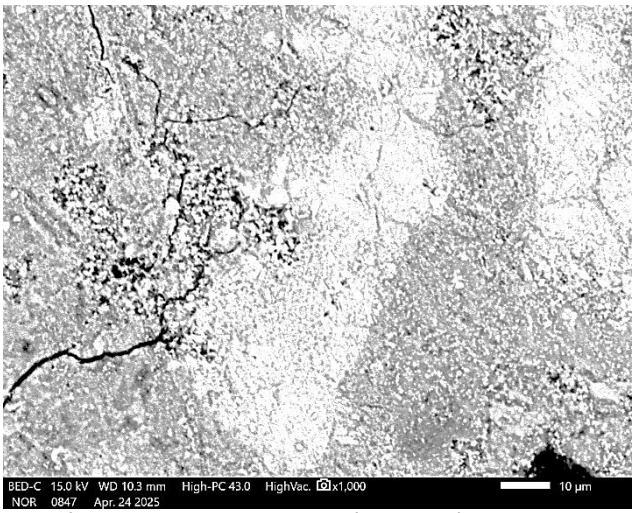
Cartographie chimique représentant la composition de la charge (x50)



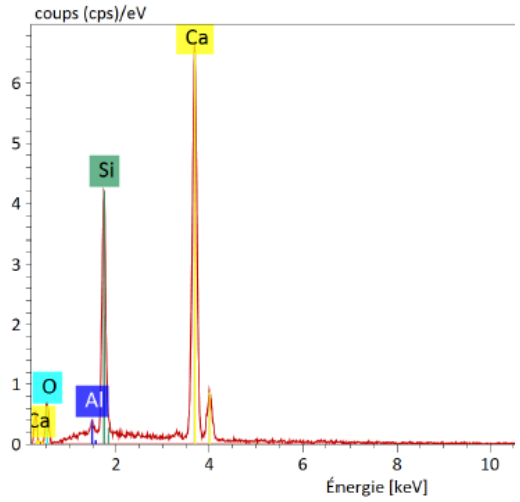
Cliché de la matrice au microscope électronique à balayage (x1000)



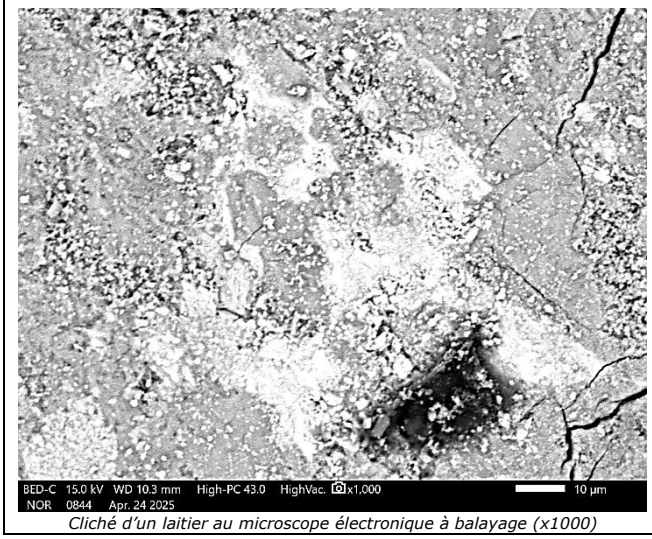
Analyses chimiques par microfluorescence de rayons X de la matrice



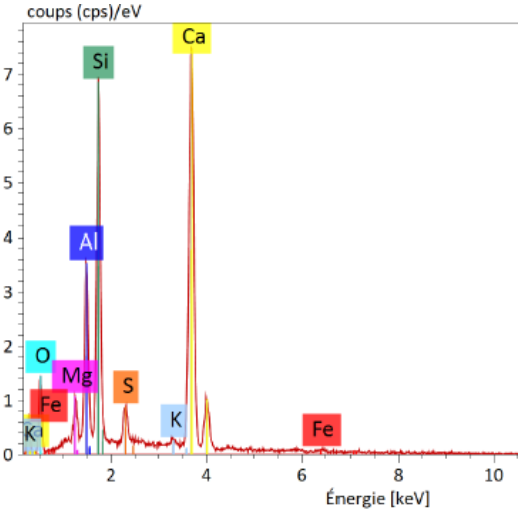
Cliché d'un anhydre C2S au microscope électronique à balayage (x1000)



Analyses chimiques par microfluorescence de rayons X d'un anhydre C2S



Cliché d'un laitier au microscope électronique à balayage (x1000)



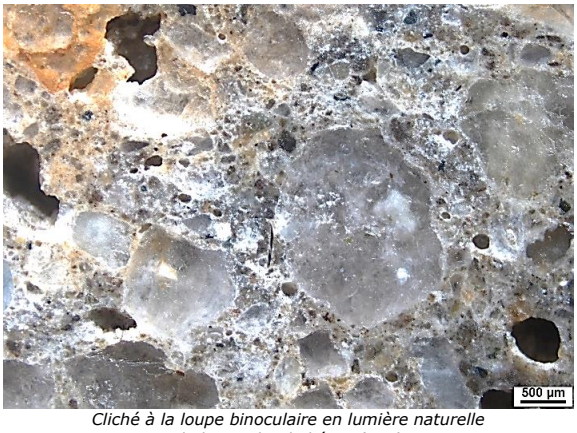
Analyses chimiques par microfluorescence de rayons X d'un laitier

4.1.5 Echantillon PC3 (0 à 40 mm)

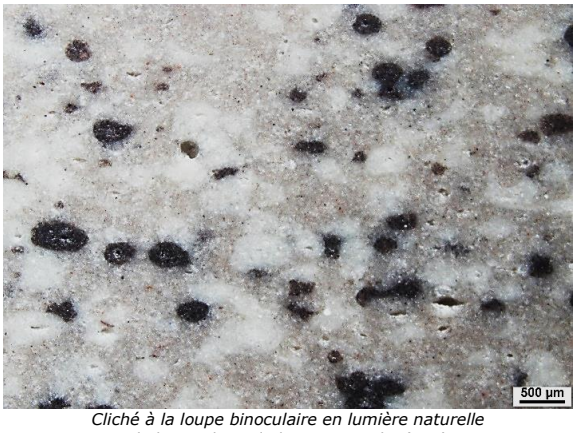
Référence échantillon : 25079-3 (PC3 – 0 à 40 mm)

Observations macroscopiques

Béton de teinte gris-bleu, sa charge minérale est composée d'un sable 0/4. Des macropores (de l'ordre du millimètre) sont visibles sur toute la surface de l'échantillon. Deux couches sont présentes à la surface : la première mesure 7 mm, est de teinte grise avec des grains submillimétriques et une porosité plus prononcée. La deuxième couche mesure 7 mm et est de teinte rosée avec un aspect de pierre polie. Des grains sub-millimétriques noirs et blancs sont visibles.



Cliché à la loupe binoculaire en lumière naturelle de la couche de béton (x20)



Cliché à la loupe binoculaire en lumière naturelle de la couche 2 de la section polie (x20)

Observations et analyses en microscopie électronique à balayage

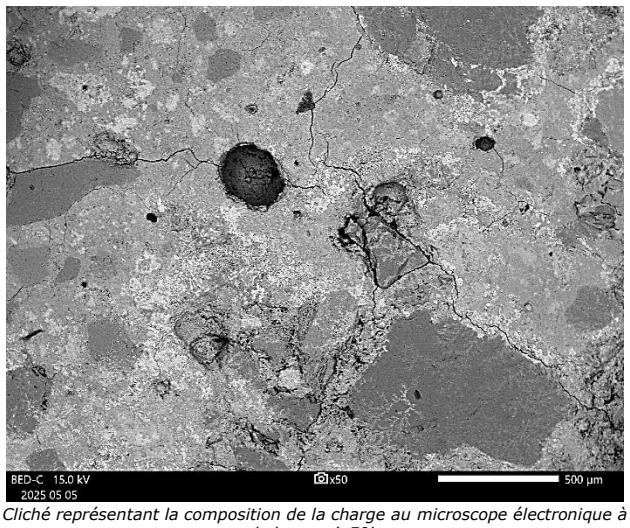
La couche de béton présente une microporosité significative sur toute la section polie. Un réseau de fissuration (ordre du micron) très développé est visible dans la matrice et de grain à grain.

La charge est moyenne (grains jointifs ponctuellement) et homogène sur toute la surface de la section polie. La morphologie de la charge est variable, de subanguleuse à arrondie. La charge est silicatée, composée majoritairement de quartz et de quelques feldspaths. Du charbon est également retrouvé dans la charge.
La charge de la couche 1 est moyenne et homogène sur toute sa surface. Elle est composée exclusivement de quartz micrométriques.

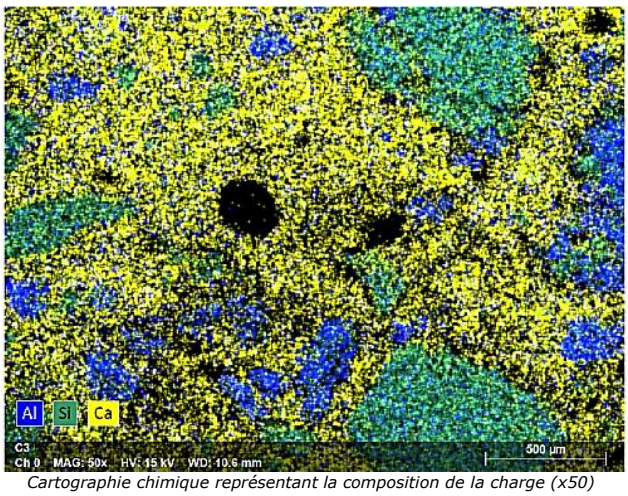
Le liant est hydraulique, avec un ratio SiO_2 sur CaO de l'ordre de 0,2-0,3. Le liant contient également de l'aluminium en faible quantité ainsi que des traces de magnésium, de potassium, de sodium, et de fer. Des anhydres de type C2S/C3S sont détectés sur toute la surface de l'échantillon indiquant l'emploi de ciment de type CEM I.

La composition de la couche 1 est similaire à celle de profondeur, avec un ratio SiO_2/CaO légèrement plus faible : 0,2. La couche 2 est composée de silicium et d'aluminium exclusivement, sans minéraux apparents ce qui suppose l'emploi d'une résine effet pierre en enduit de finition.

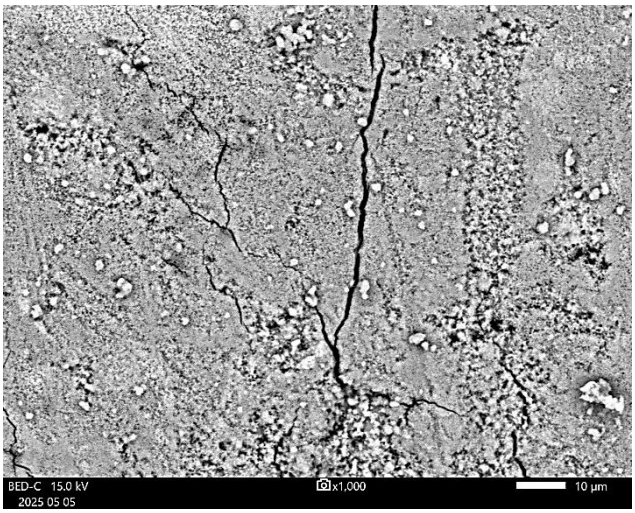
Du chlore est identifié en quantité importante sur toute la surface de la section polie sauf sur la couche 1. Des cristallisations de halite (NaCl) sont identifiées en profondeur (3,5cm).
Aucune alcali-réaction ni réaction sulfatique n'est détectée.



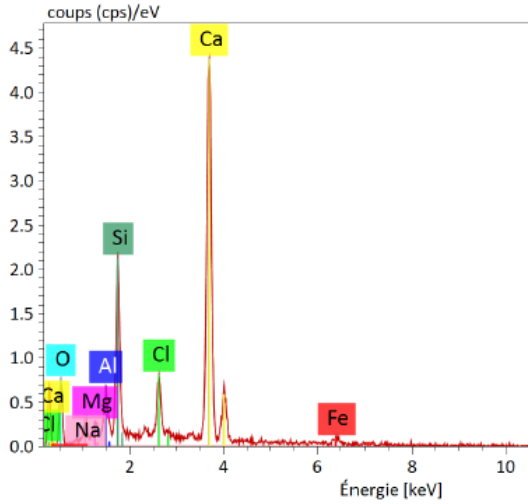
Cliché représentant la composition de la charge au microscope électronique à balayage (x50)



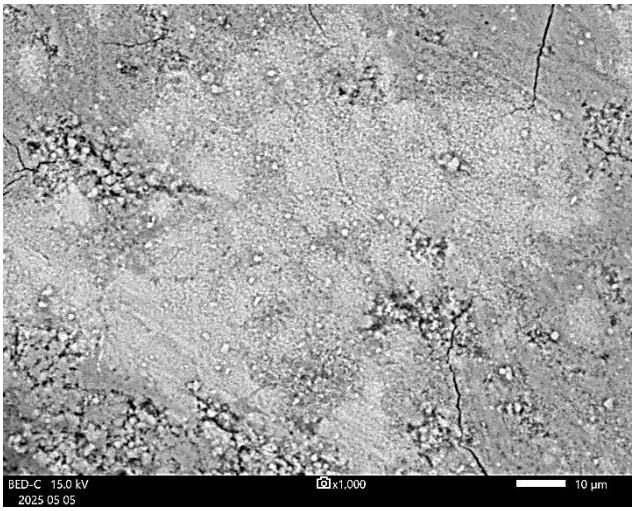
Cartographie chimique représentant la composition de la charge (x50)



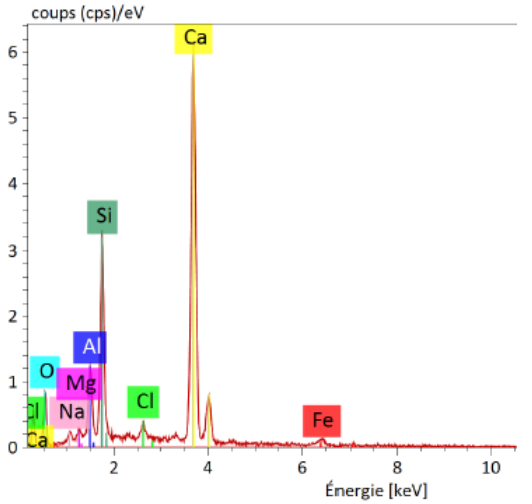
Cliché de la matrice au microscope électronique à balayage (x1000)



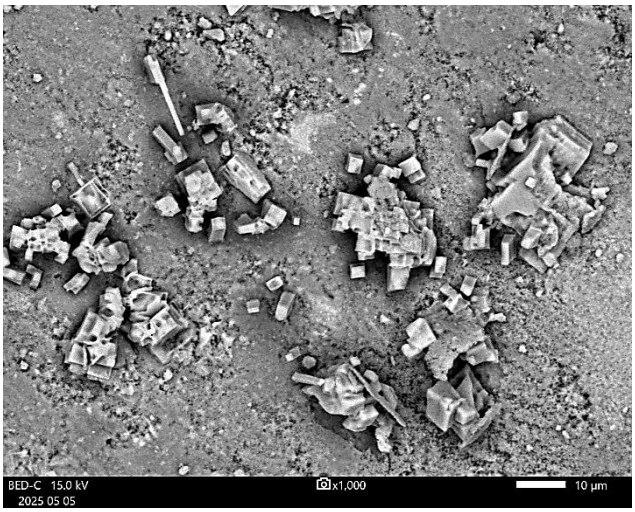
Analyses chimiques par microfluorescence de rayons X de la matrice



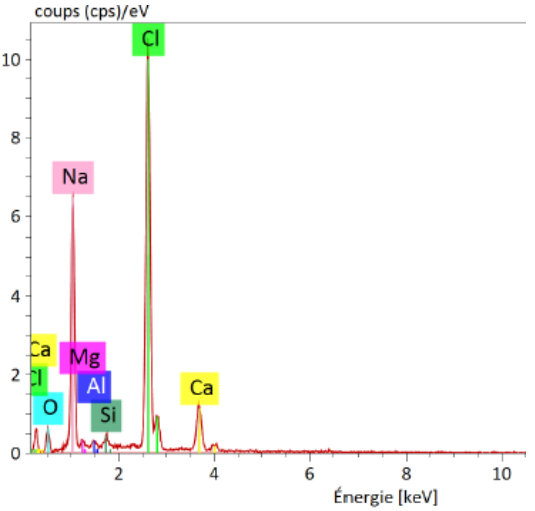
Cliché d'un anhydre C3S au microscope électronique à balayage (x1000)



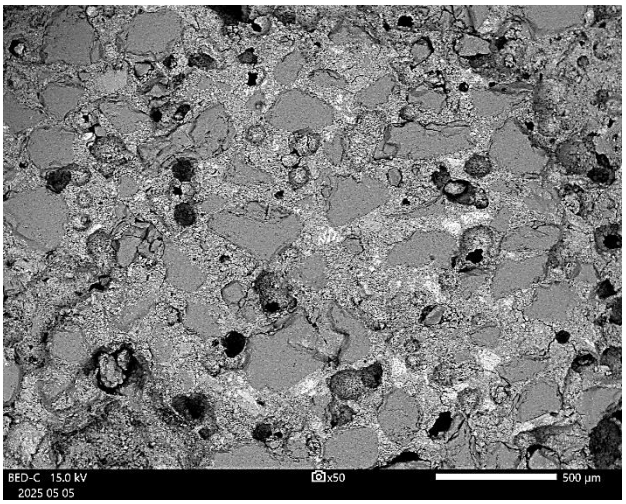
Analyses chimiques par microfluorescence de rayons X d'un anhydre C3S



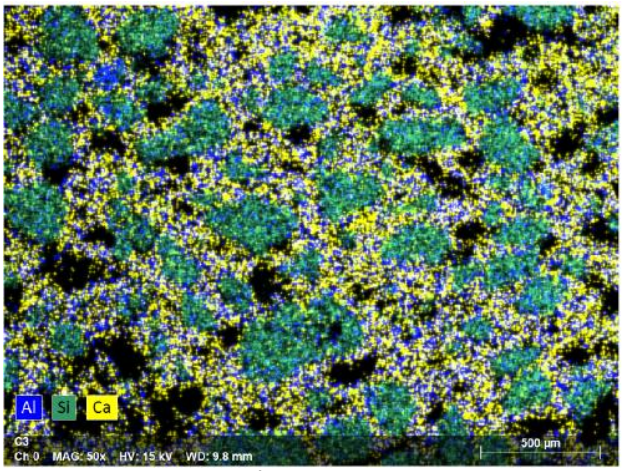
Cliché de cristaux de halite (NaCl) – profondeur au microscope électronique à balayage (x1000)



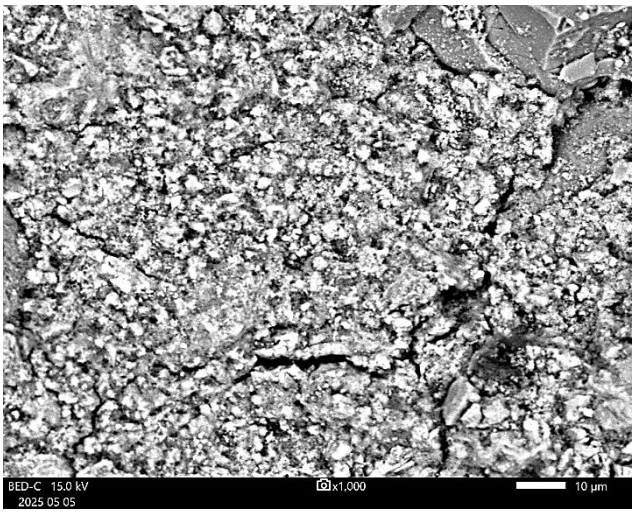
Analyses chimiques par microfluorescence de rayons X de cristaux de halite (NaCl)



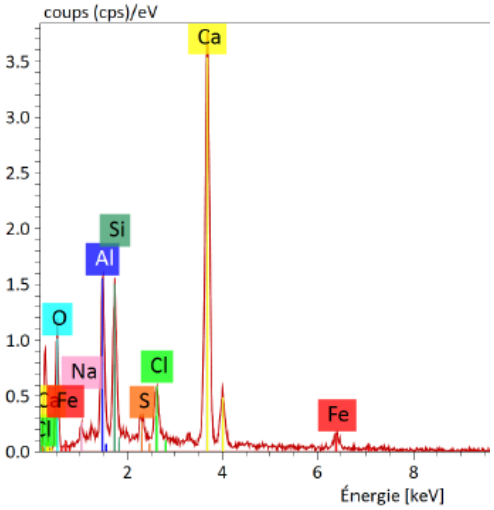
Cliché représentant la composition de la charge de la couche 1 au microscope électronique à balayage (x50)



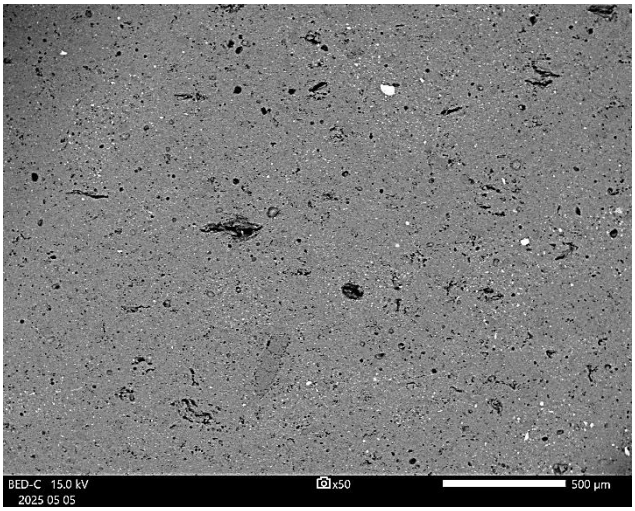
Cartographie chimique représentant la composition de la charge de la couche 1 (x50)



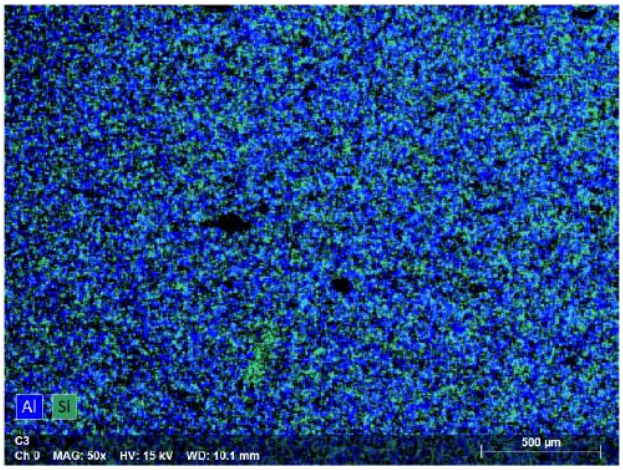
Cliché de la matrice de la couche 1 au microscope électronique à balayage (x1000)



Analyses chimiques par microfluorescence de rayons X de la matrice de la couche 1



Cliché représentant la composition de la couche 2 au microscope électronique à balayage (x50)



Cartographie chimique représentant la composition de la couche 2 (x50)

4.1.6 Echantillon PC3 (50 à 90 mm)

Référence échantillon : 25079-3 (PC3 – 50 à 90 mm)

Observations macroscopiques

Béton de teinte grise, sa charge minérale est composée d'un sable 0/4 et d'un gravier 4/16. De nombreux macropores atteignant fréquemment 3 mm de diamètre sont visibles sur toute la surface de l'échantillon.



Cliché à la loupe binoculaire en lumière naturelle de la section polie (x20)

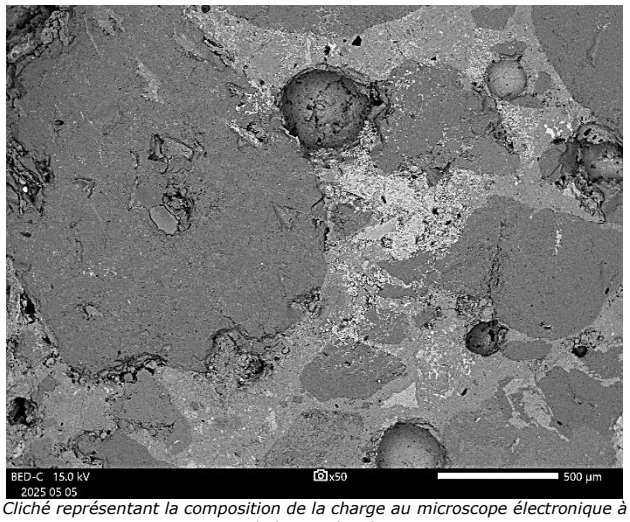
Observations et analyses en microscopie électronique à balayage

L'échantillon présente une microporosité significative sur toute la section polie. Un réseau de fissuration (ordre du micron) très développé est visible dans la matrice et de grain à grain.

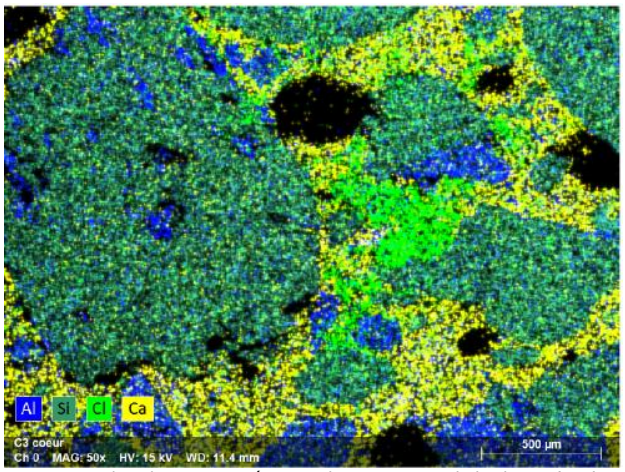
La charge est moyenne (grains jointifs ponctuellement) et homogène sur toute la surface de la section polie. La morphologie de la charge est variable, de subanguleuse à arrondie. La charge est silicatée, composée majoritairement de quartz et de quelques feldspaths. Du charbon est également retrouvé dans la charge.

Le liant est hydraulique, avec un ratio SiO_2 sur CaO de l'ordre de 0,2-0,4. Le liant contient également de l'aluminium et du soufre en faible quantité ainsi que des traces de magnésium, de sodium, et de fer. Des anhydres de type C2S/C3S et C4AF sont détectés sur toute la surface de l'échantillon, indiquant l'emploi de ciment de type CEM I.

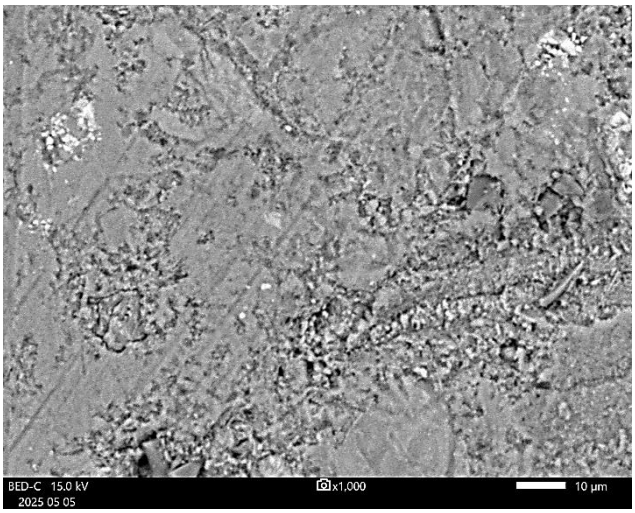
Du chlore est identifié de façon ponctuelle sur la section avec des cristaux de halite (NaCl) identifiés à environ 3 cm de profondeur (80 mm de profondeur par rapport à la tête de carotte). Aucune alcali-réaction ni réaction sulfatique n'est détectée.



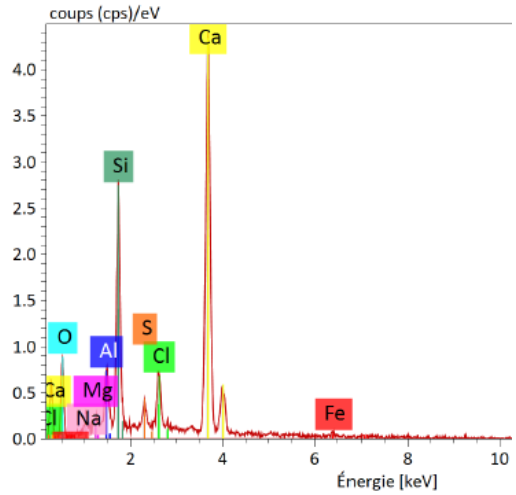
Cliché représentant la composition de la charge au microscope électronique à balayage (x50)



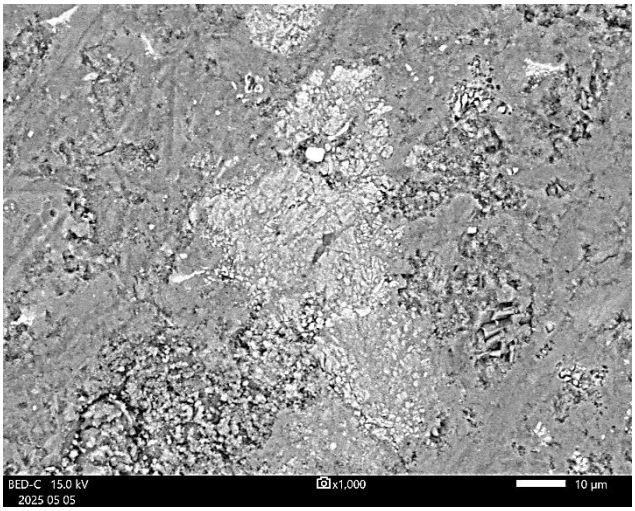
Cartographie chimique représentant la composition de la charge (x50)



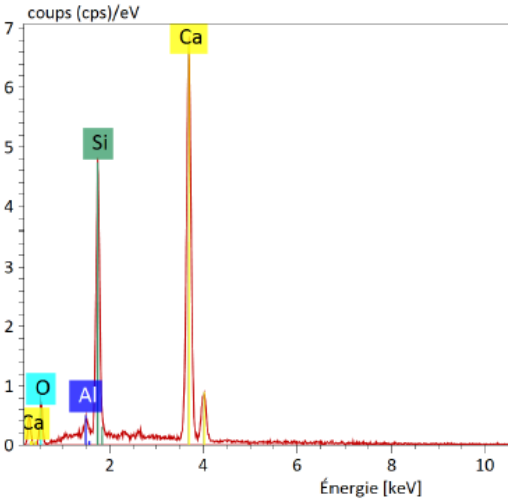
Cliché de la matrice au microscope électronique à balayage (x1000)



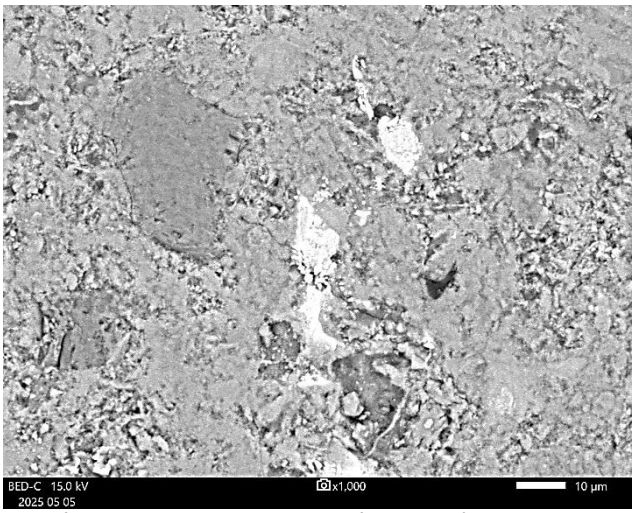
Analyses chimiques par microfluorescence de rayons X de la matrice



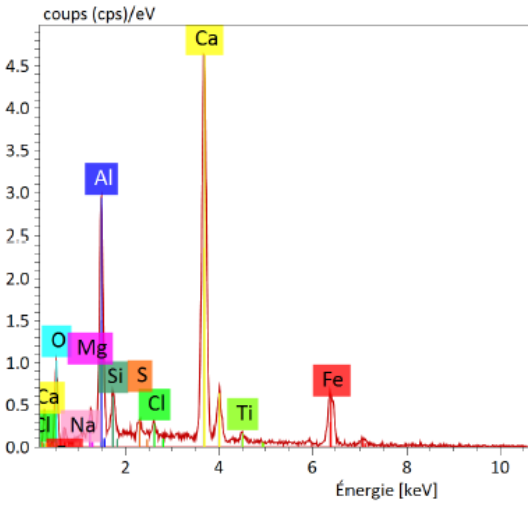
Cliché d'un anhydre C2S au microscope électronique à balayage (x1000)



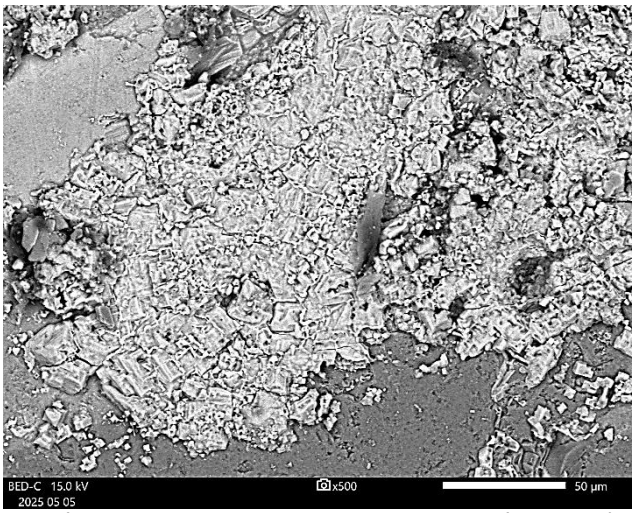
Analyses chimiques par microfluorescence de rayons X d'un anhydre C2S



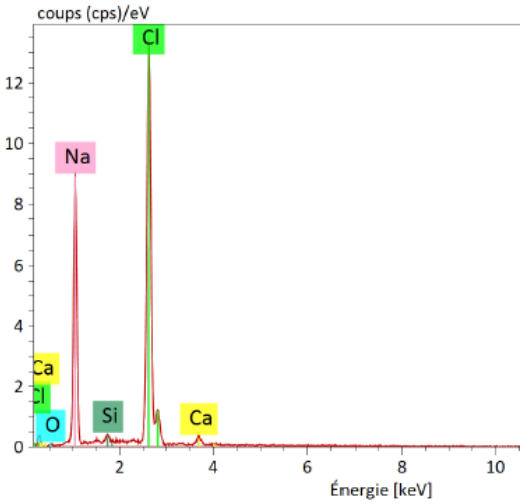
Cliché d'un grain de C4AF au microscope électronique à balayage (x1000)



Analyses chimiques par microfluorescence de rayons X d'un grain de C4AF



Cliché d'une plage de cristallisation de NaCl au microscope électronique à balayage (x500)



Analyses chimiques par microfluorescence de rayons X d'une cristallisation de NaCl

4.1.7 Echantillon PC4 (0 à 40 mm)

Référence échantillon : 25079-4 (PC4 – 0 à 40 mm)

Observations macroscopiques

Béton de teinte gris-bleu, sa charge minérale est composée d'un sable 0/4 et d'un gravier 4/20. Des macropores (de l'ordre du millimètre) sont visibles sur toute la surface de l'échantillon. Une couche de même teinte et d'environ 8 mm est présente à la surface avec des grains sensiblement plus petits.



Cliché à la loupe binoculaire en lumière naturelle de la section polie (x20)

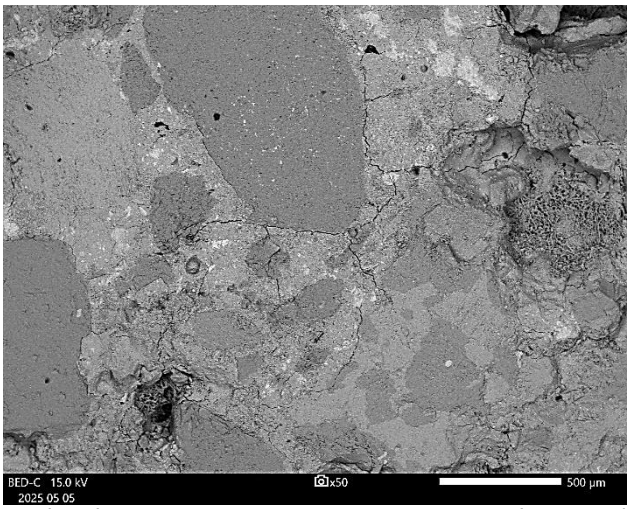
Observations et analyses en microscopie électronique à balayage

L'échantillon présente une microporosité significative sur toute la section polie. Un réseau de fissuration (ordre du micron) très développé est visible dans la matrice et de grain à grain.

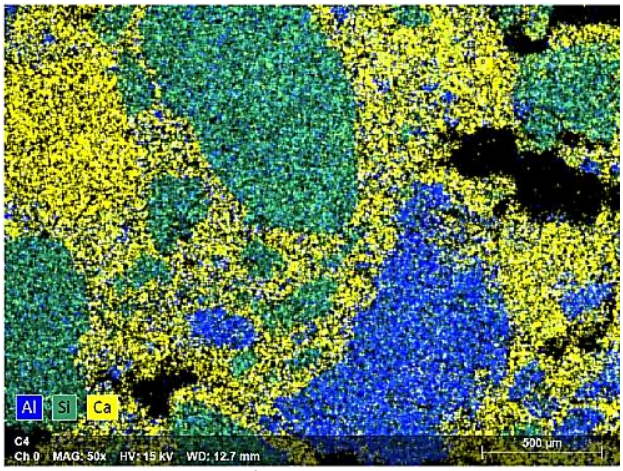
La charge est moyenne (grains jointifs ponctuellement) et homogène sur toute la surface de la section polie. La morphologie de la charge est variable, de subanguleuse à arrondie. La charge est silicatée, composée majoritairement de quartz et de quelques feldspaths. Du charbon est également retrouvé dans la charge.

Le liant est hydraulique, avec un ratio SiO_2 sur CaO de l'ordre de 0,4-0,5. Le liant contient également de l'aluminium en faible quantité ainsi que des traces de magnésium, de potassium, de sodium, et de fer. Des anhydres de type C2S/C3S et C4AF sont détectés sur toute la surface de l'échantillon, indiquant l'emploi de ciment de type CEM I.

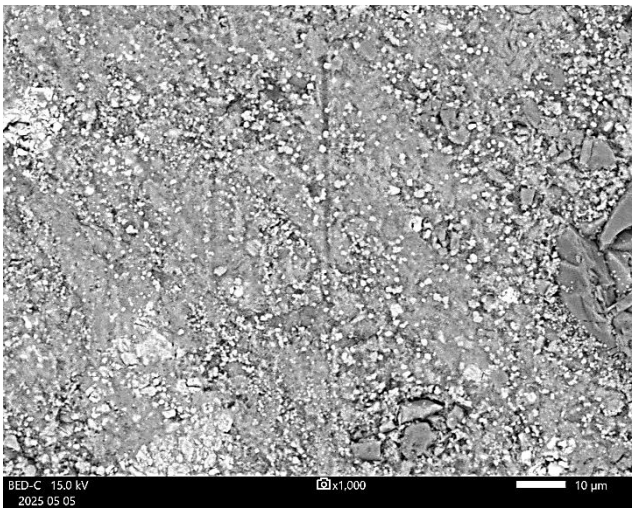
La composition de la couche de surface est similaire à celle de profondeur, avec un ratio SiO_2/CaO légèrement plus faible : 0,2-0,4.
Aucune alcali-réaction ni réaction sulfatique n'est détectée.



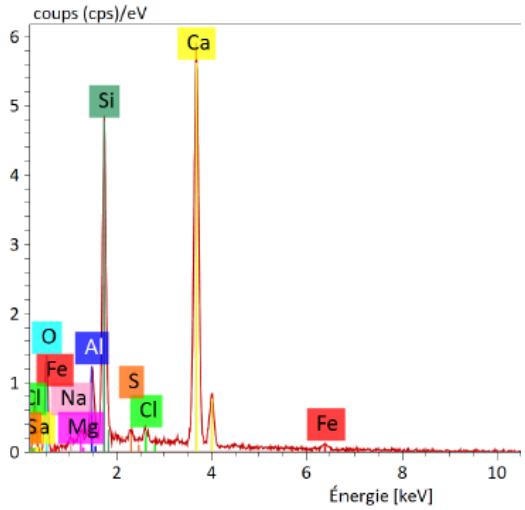
Cliché représentant la composition de la charge au microscope électronique à balayage (x50)



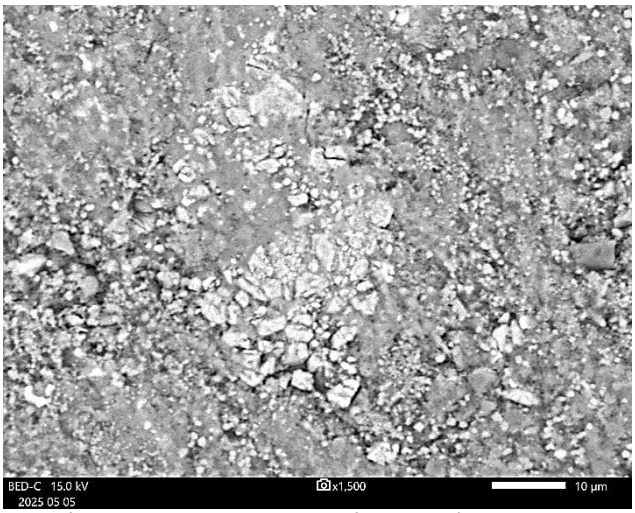
Cartographie chimique représentant la composition de la charge (x50)



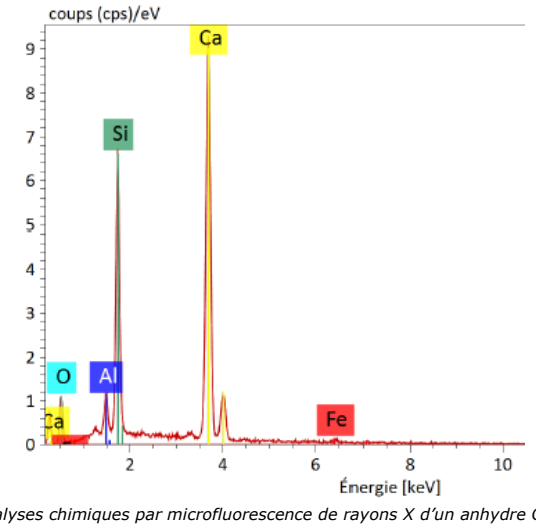
Cliché de la matrice au microscope électronique à balayage (x1000)



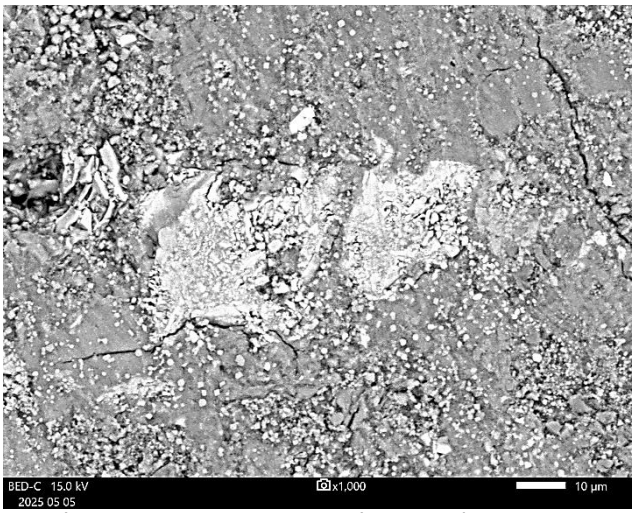
Analyses chimiques par microfluorescence de rayons X de la matrice



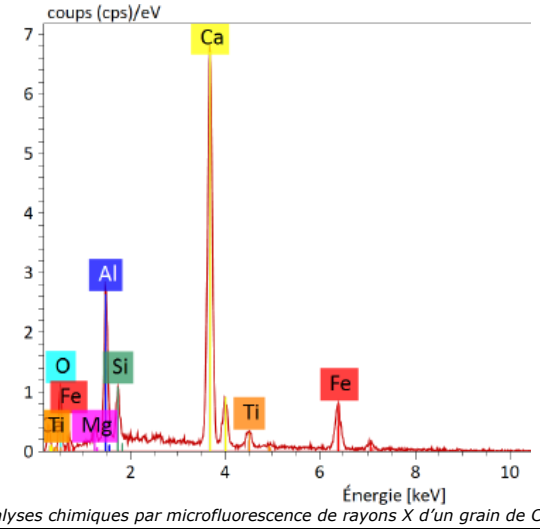
Cliché d'un anhydre C2S au microscope électronique à balayage (x1500)



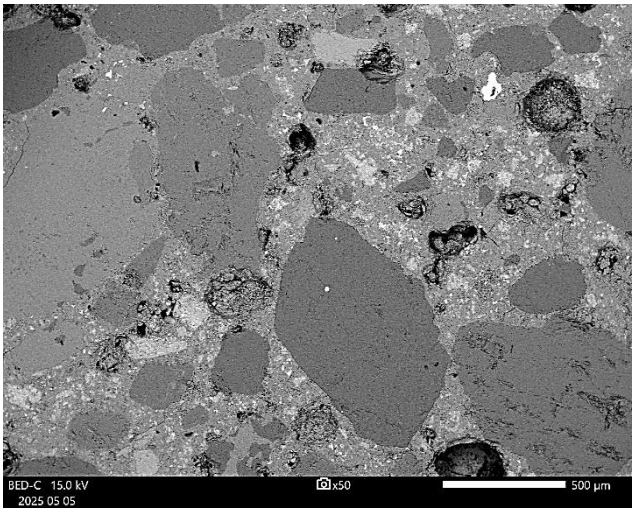
Analyses chimiques par microfluorescence de rayons X d'un anhydre C2S



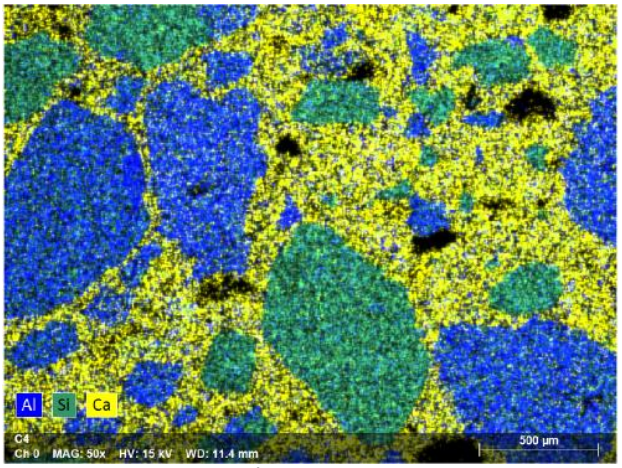
Cliché d'un grain de C4AF au microscope électronique à balayage (x1000)



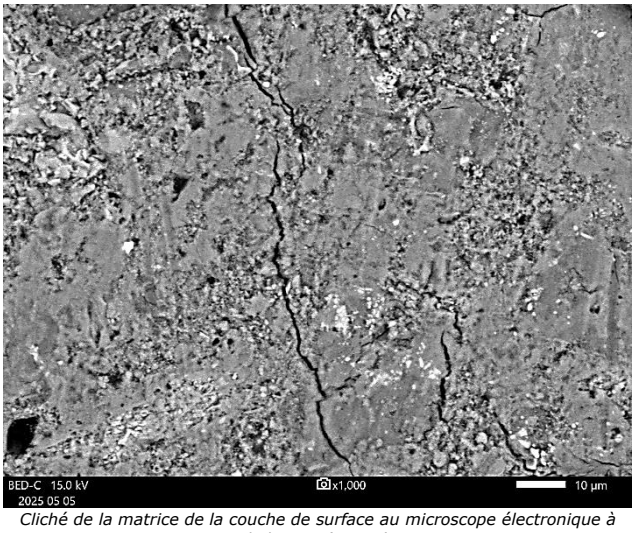
Analyses chimiques par microfluorescence de rayons X d'un grain de C4AF



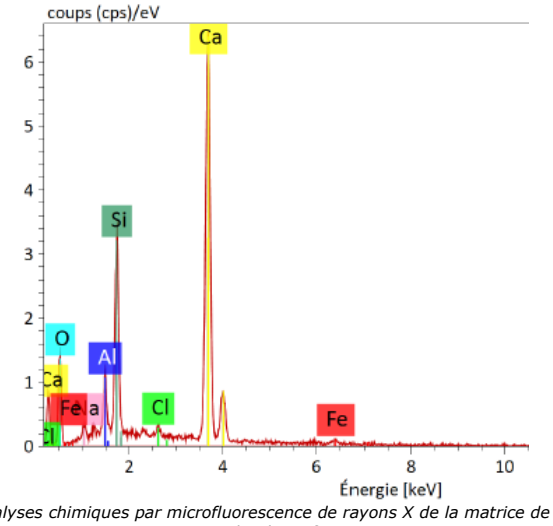
Cliché représentant la composition de la charge de la couche de surface au microscope électronique à balayage (x50)



Cartographie chimique représentant la composition de la charge de la couche de surface (x50)



Cliché de la matrice de la couche de surface au microscope électronique à balayage (x1000)



Analyses chimiques par microfluorescence de rayons X de la matrice de la couche de surface

4.1.8 Echantillon PC4 (100 à 140 mm)

Référence échantillon : 25079-4 (PC4 – 100 à 140 mm)

Observations macroscopiques

Béton de teinte grise, sa charge minérale est composée d'un sable 0/4 et d'un gravier 4/16. Des macropores (de l'ordre du millimètre) sont visibles sur toute la surface de l'échantillon.



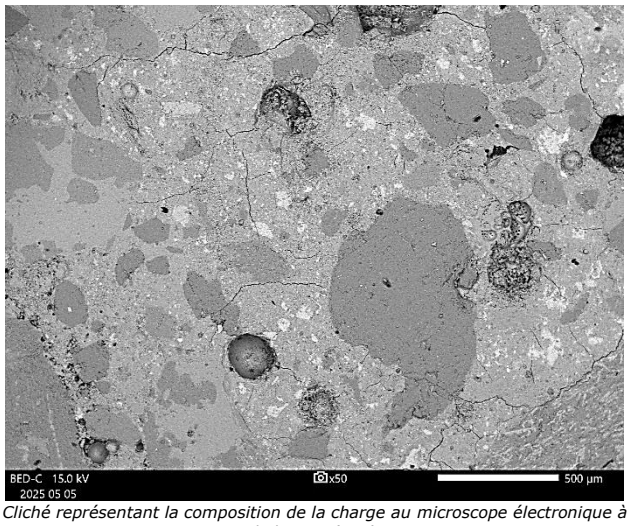
Cliché à la loupe binoculaire en lumière naturelle de la section polie (x20)

Observations et analyses en microscopie électronique à balayage

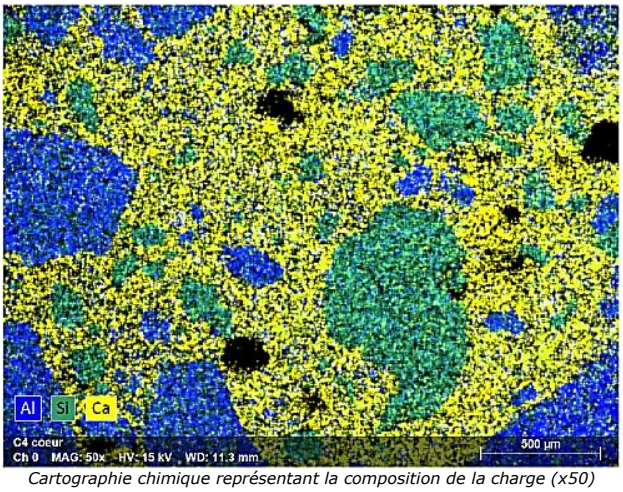
L'échantillon présente une microporosité significative sur toute la section polie. Un réseau de fissuration (ordre du micron) très développé est visible dans la matrice et de grain à grain.

La charge est moyenne (grains jointifs ponctuellement) et homogène sur toute la surface de la section polie. La morphologie de la charge est variable, de subanguleuse à arrondie. La charge est silicatée, composée majoritairement de quartz et de quelques feldspaths. Du charbon est également retrouvé dans la charge.

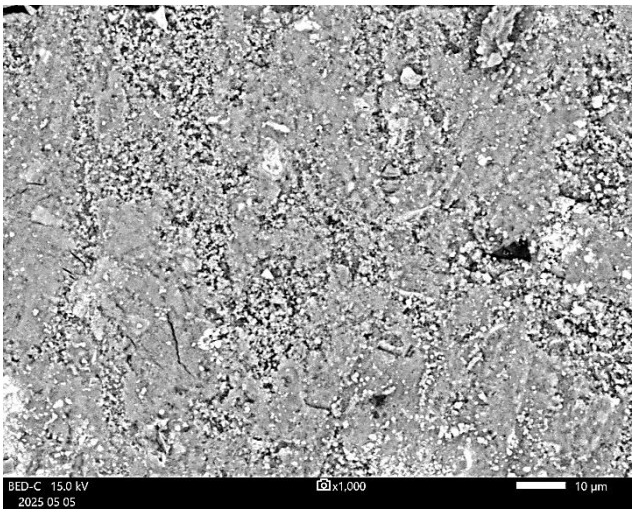
Le liant est hydraulique, avec un ratio SiO_2 sur CaO de l'ordre de 0,3-0,4. Le liant contient également de l'aluminium et du soufre en faible quantité ainsi que des traces de magnésiumde potassium, et de fer. Des anhydres de type C2S/C3S sont détectés sur toute la surface de l'échantillon, ainsi que des laitiers indiquant l'emploi de ciment de type CEM II.
Aucune alcali-réaction ni réaction sulfatique n'est détectée.



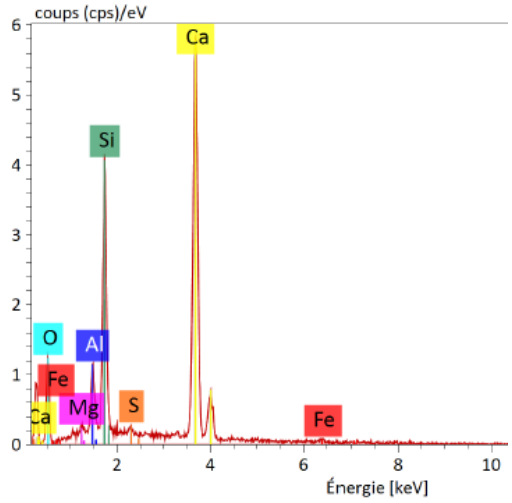
Cliché représentant la composition de la charge au microscope électronique à balayage (x50)



Cartographie chimique représentant la composition de la charge (x50)



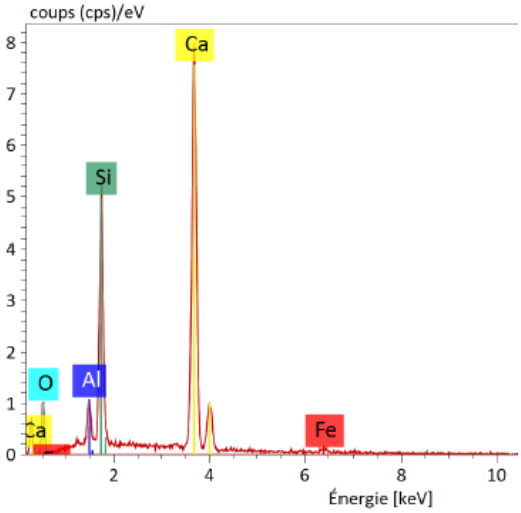
Cliché de la matrice au microscope électronique à balayage (x1000)



Analyses chimiques par microfluorescence de rayons X de la matrice



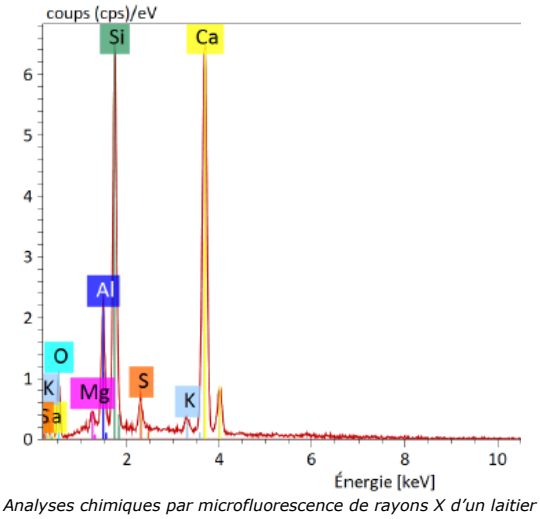
Cliché d'un anhydre C2S au microscope électronique à balayage (x1000)



Analyses chimiques par microfluorescence de rayons X d'un anhydre C2S



Cliché d'un laitier au microscope électronique à balayage (x1000)



Analyses chimiques par microfluorescence de rayons X d'un laitier

4.1.9 Echantillon PC5 (0 à 40 mm)

Référence échantillon : 25079-5 (PC5 – 0 à 40 mm)

Observations macroscopiques

Béton de teinte grise, sa charge minérale est composée d'un sable 0/4 et d'un gravier 4/10. Des macropores (de l'ordre du millimètre) sont visibles sur toute la surface de l'échantillon. Une couche de même teinte et d'environ 12 mm est présente à la surface avec des grains sensiblement plus petits (0/4).



Cliché à la loupe binoculaire en lumière naturelle de la section polie (x20)



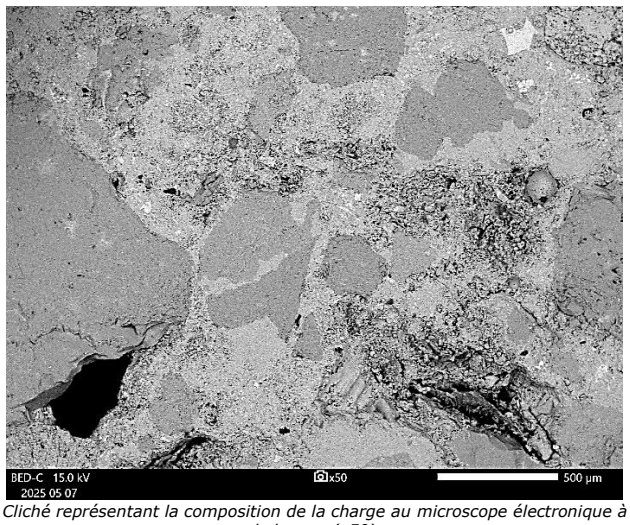
Cliché à la loupe binoculaire en lumière naturelle de la couche de surface de la section polie (x20)

Observations et analyses en microscopie électronique à balayage

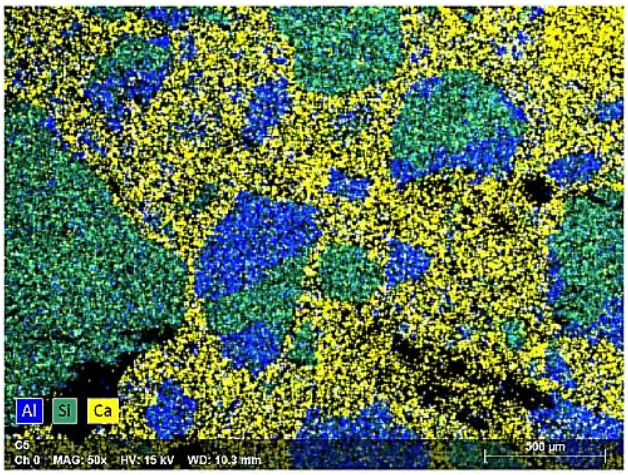
L'échantillon présente une microporosité significative sur toute la section polie. Un réseau de fissuration (ordre du micron) très développé est visible dans la matrice et de grain à grain.

La charge est moyenne (grains jointifs ponctuellement) et homogène sur toute la surface de la section polie. La morphologie de la charge est variable, de subanguleuse à arrondie. La charge est silicatée, composée majoritairement de quartz et de quelques feldspaths. Du charbon est également retrouvé dans la charge.

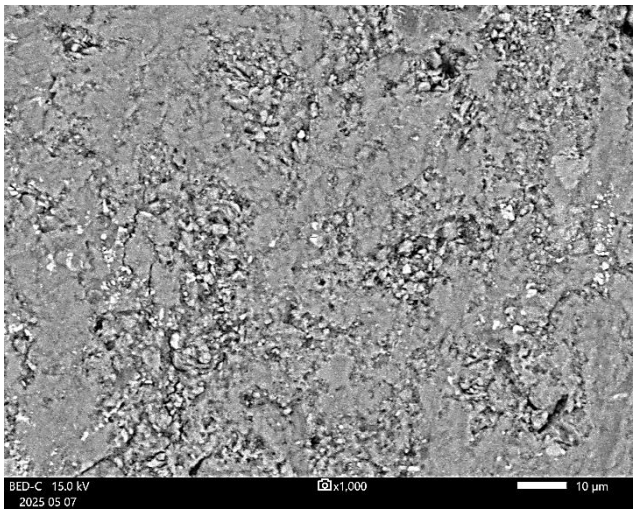
Le liant est hydraulique, avec un ratio SiO_2 sur CaO de l'ordre de 0,1-0,3. Le liant contient également de l'aluminium en faible quantité ainsi que des traces de magnésium, de potassium, de sodium, et de fer. Des anhydres de type C4AF sont détectés sur toute la surface de l'échantillon, ainsi que des laitiers de hauts fourneaux indiquant l'emploi de ciment de type CEM II.
La composition de la couche de surface est similaire à celle de profondeur, avec néanmoins une concentration en chlore plus importante. Il s'agit d'un mortier de finition.
Aucune alcali-réaction ni réaction sulfatique n'est détectée.



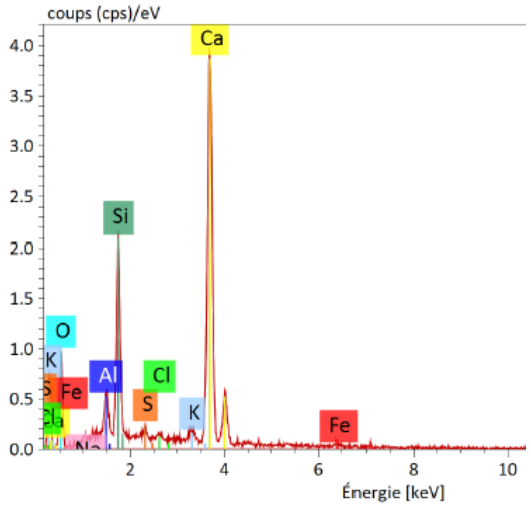
Cliché représentant la composition de la charge au microscope électronique à balayage (x50)



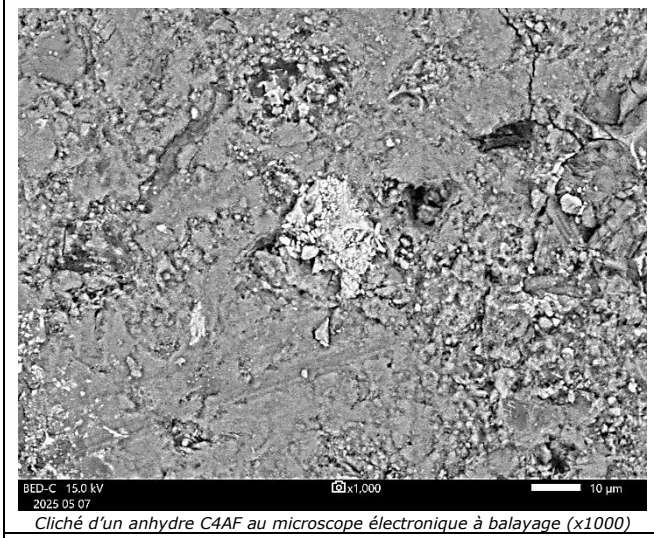
Cartographie chimique représentant la composition de la charge (x50)



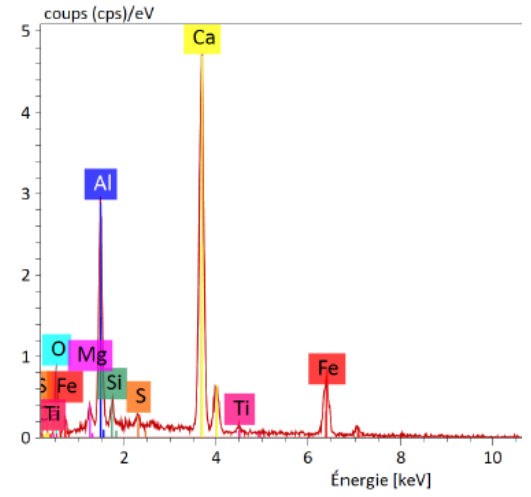
Cliché de la matrice au microscope électronique à balayage (x1000)



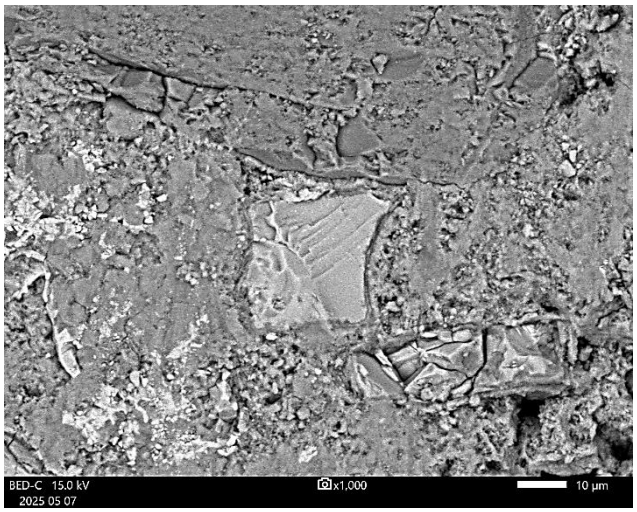
Analyses chimiques par microfluorescence de rayons X de la matrice



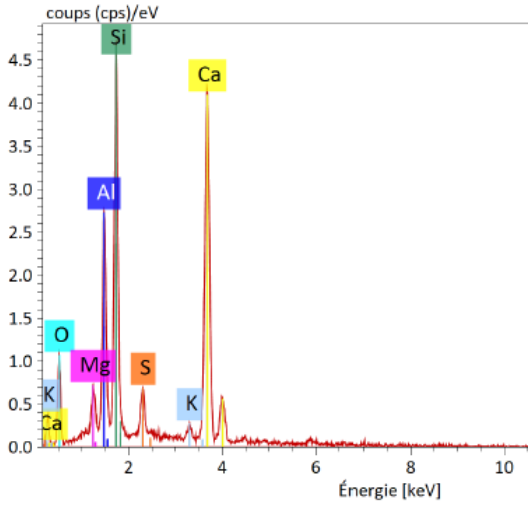
Cliché d'un anhydre C4AF au microscope électronique à balayage (x1000)



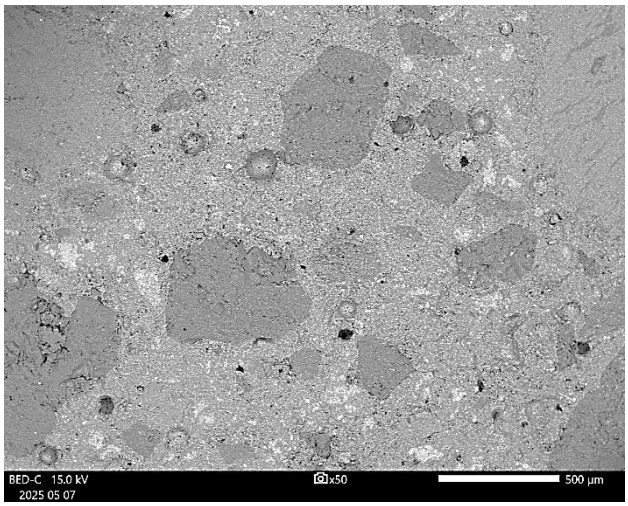
Analyses chimiques par microfluorescence de rayons X d'un anhydre C4AF



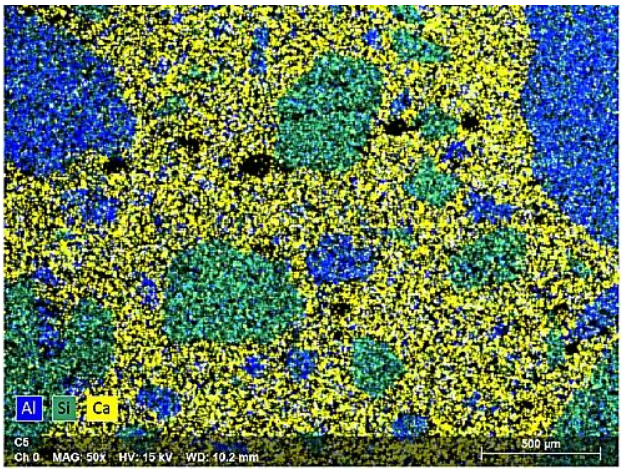
Cliché d'un laitier de hauts fourneaux au microscope électronique à balayage (x1000)



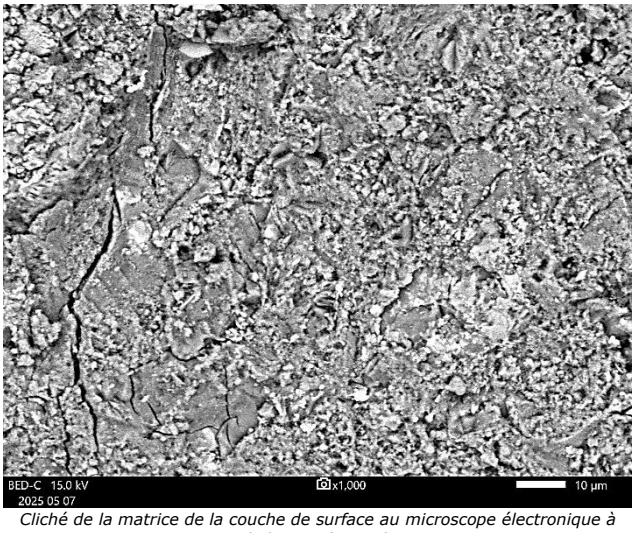
Analyses chimiques par microfluorescence de rayons X d'un laitier de hauts fourneaux



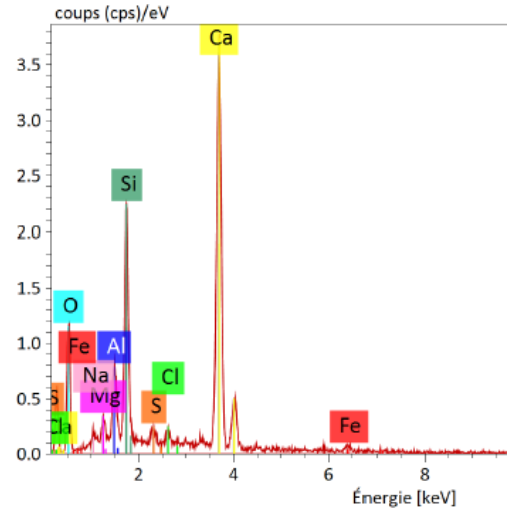
Cliché représentant la composition de la charge de la couche de surface au microscope électronique à balayage (x50)



Cartographie chimique représentant la composition de la charge de la couche de surface (x50)



Cliché de la matrice de la couche de surface au microscope électronique à balayage (x1000)



Analyses chimiques par microfluorescence de rayons X de la matrice de la couche de surface

4.1.10 Echantillon PC6 (0 à 30 mm)

Référence échantillon : 25079-6 (PC6 – 0 à 30 mm)

Observations macroscopiques

Béton de teinte gris-bleu, sa charge minérale est composée d'un sable 0/4. Des macropores (de l'ordre du millimètre) sont visibles sur toute la surface de l'échantillon. Deux couches sont présentes à la surface : la première couche mesure 10 mm, est de teinte orangée avec des grains submillimétriques et une porosité plus prononcée. La deuxième mesure 4 mm, est de teinte rose foncé. Des grains sub-millimétriques sont visibles.



Cliché à la loupe binoculaire en lumière naturelle de la couche de béton (x20)



Cliché à la loupe binoculaire en lumière naturelle de la couche 1 de la section polie (x20)



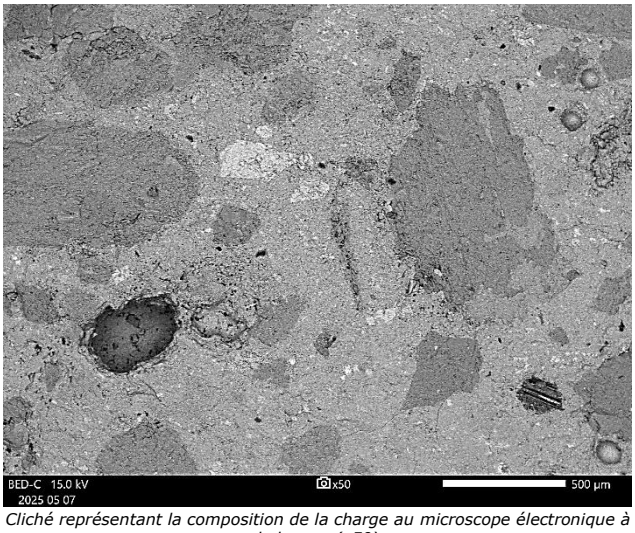
Cliché à la loupe binoculaire en lumière naturelle de la couche 2 de la section polie (x20)

<u>Observations et analyses en microscopie électronique à balayage</u>

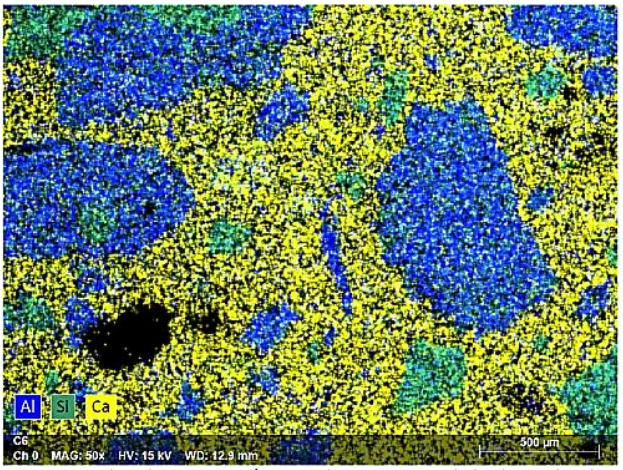
L'échantillon présente une microporosité significative sur toute la section polie. Un réseau de fissuration (ordre du micron) très développé est visible dans la matrice et de grain à grain.

La charge est moyenne (grains jointifs ponctuellement) et homogène sur toute la surface de la section polie. La morphologie de la charge est variable, de subanguleuse à arrondie. La charge est silicatée, composée majoritairement de quartz et de quelques feldspaths. Du charbon est également retrouvé dans la charge.
La charge des couches de surface est moyenne et homogène sur toute sa surface. Elle est composée majoritairement de fibres organiques avec quelques grains de quartz et de calcite, surtout dans la couche 2. Celle-ci comporte également des oxydes de fer, probablement responsable de la teinte rose foncé.

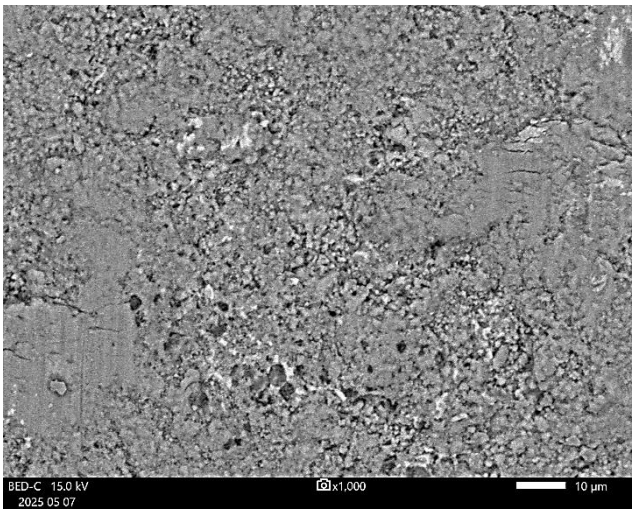
Le liant est hydraulique, avec un ratio SiO_2 sur CaO de l'ordre de 0,1-0,2. Le liant contient également de l'aluminium en faible quantité ainsi que des traces de magnésium, de potassium, et de fer. Des anhydres de type C4AF, ainsi que des laitiers de hauts fourneaux sont détectés sur toute la surface de l'échantillon indiquant l'emploi de ciment de type CEM II.
La composition des couches de surface est dominée par le chlore et le magnésium, ce qui indique l'emploi d'un ciment Sorel, couramment utilisé pour la préparation des sols.
De l'amiante est détectée dans la couche de surface (couche rose), en amas ou en fibre plus fine.
Du chlore est identifié sur toute la surface de la section polie.
Aucune alcali-réaction ni réaction sulfatique n'est détectée.



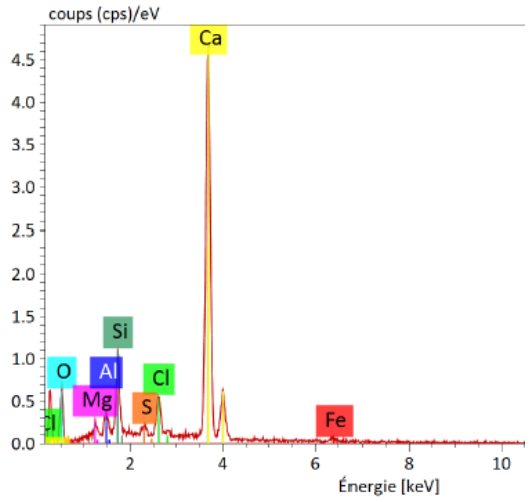
Cliché représentant la composition de la charge au microscope électronique à balayage (x50)



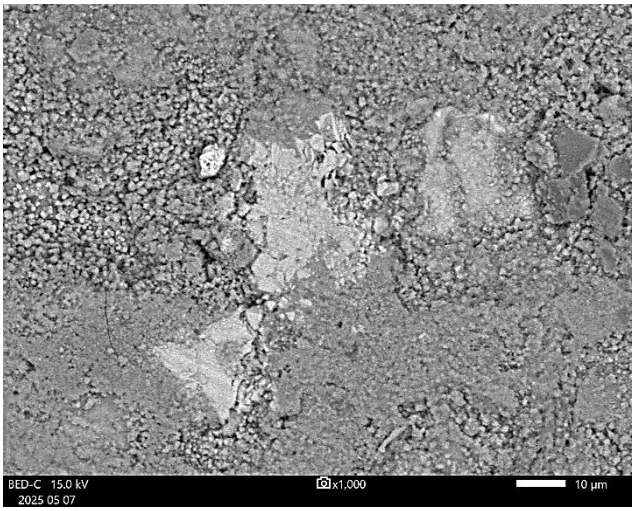
Cartographie chimique représentant la composition de la charge (x50)



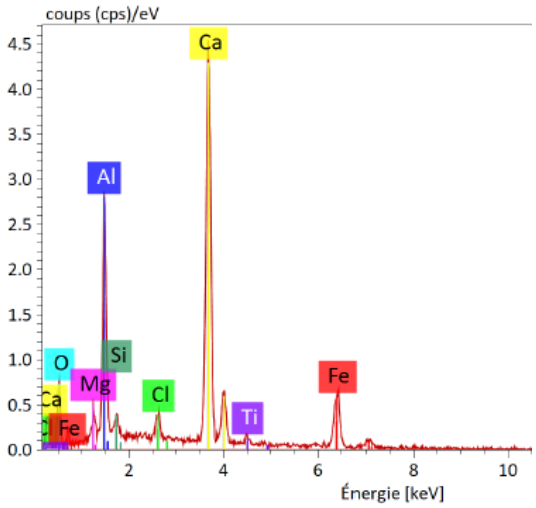
Cliché de la matrice au microscope électronique à balayage (x1000)



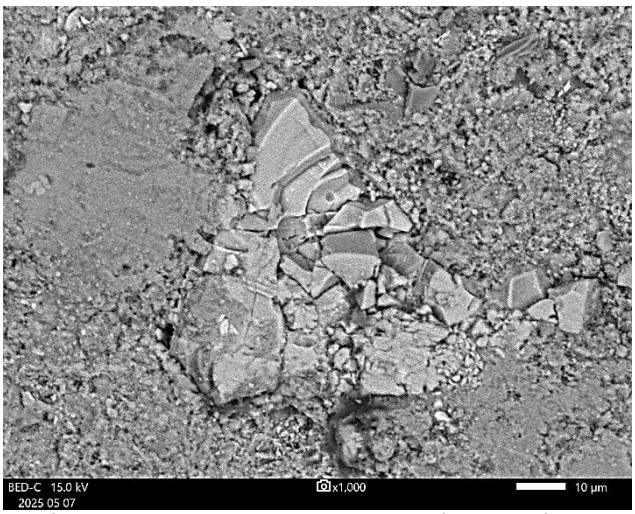
Analyses chimiques par microfluorescence de rayons X de la matrice



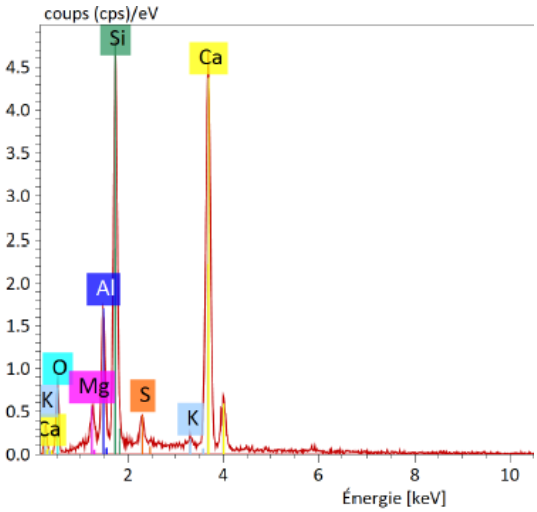
Cliché d'un anhydre C4AF au microscope électronique à balayage (x1000)



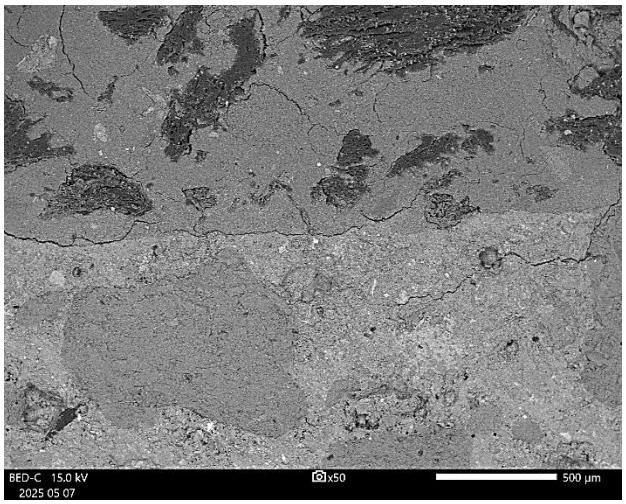
Analyses chimiques par microfluorescence de rayons X d'un anhydre C4AF



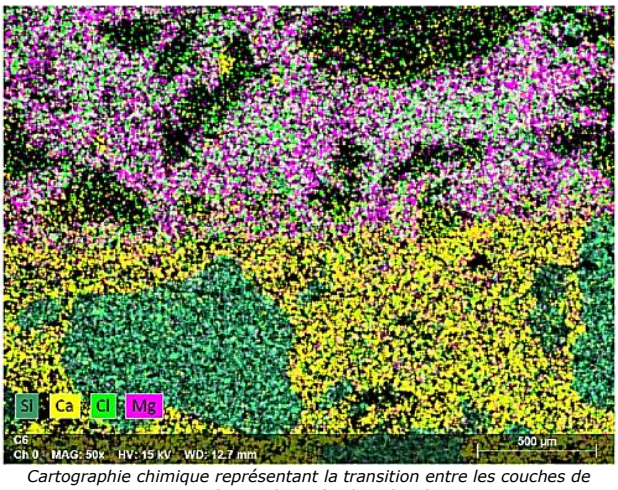
Cliché d'un laitier de hauts fourneaux au microscope électronique à balayage (x1000)



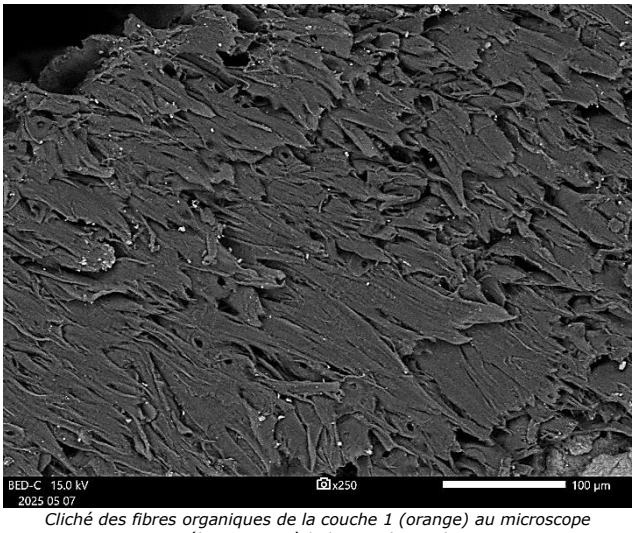
Analyses chimiques par microfluorescence de rayons X d'un laitier de hauts fourneaux



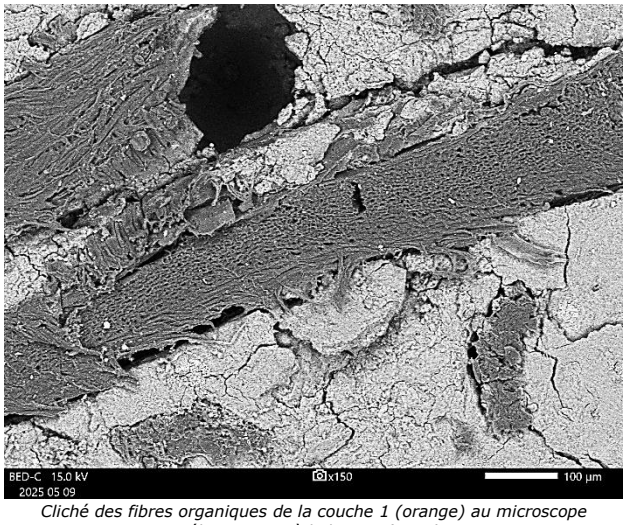
Cliché représentant la transition entre la profondeur et les couches de surface au microscope électronique à balayage (x50)



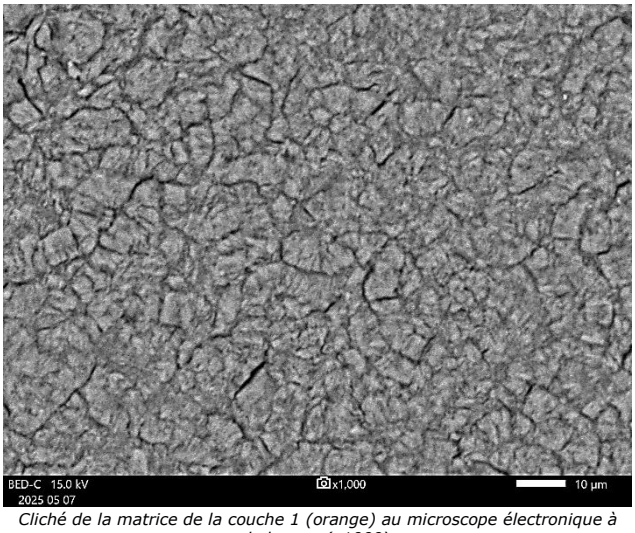
Cartographie chimique représentant la transition entre les couches de surface et la profondeur (x50)



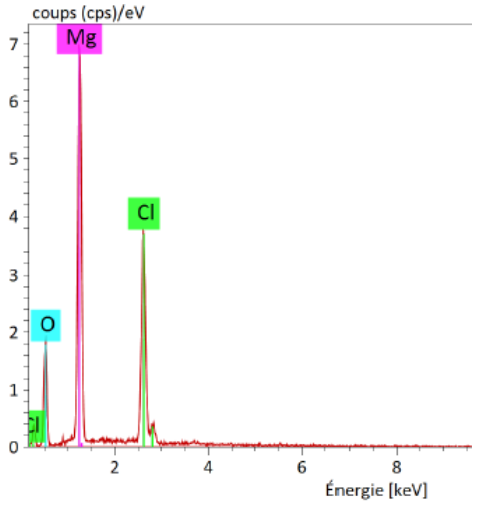
Cliché des fibres organiques de la couche 1 (orange) au microscope électronique à balayage (x1000)



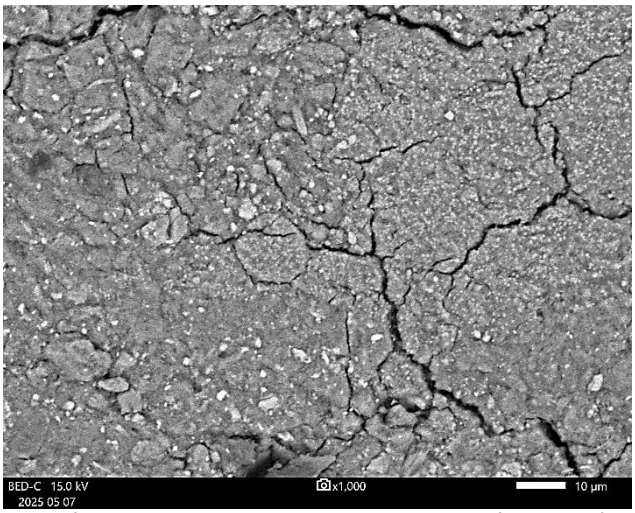
Cliché des fibres organiques de la couche 1 (orange) au microscope électronique à balayage (x150)



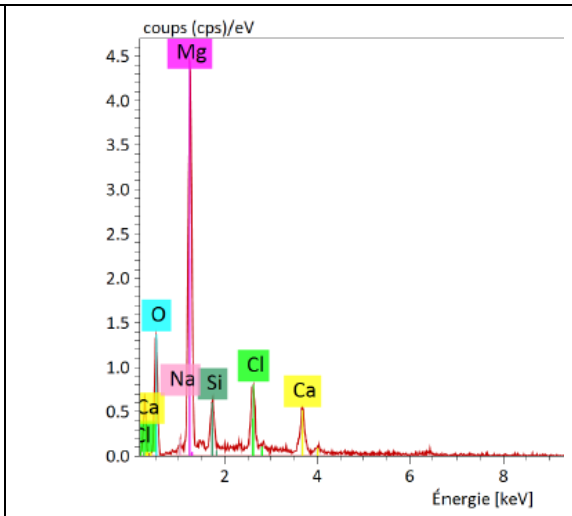
Cliché de la matrice de la couche 1 (orange) au microscope électronique à balayage (x1000)



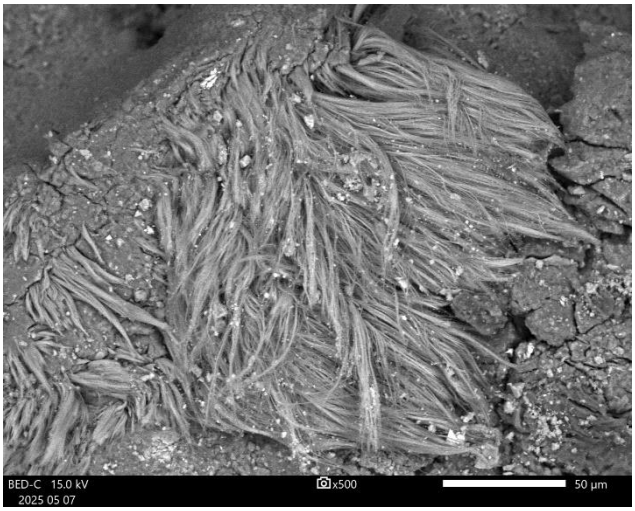
Analyses chimiques par microfluorescence de rayons X de la matrice de la couche 1



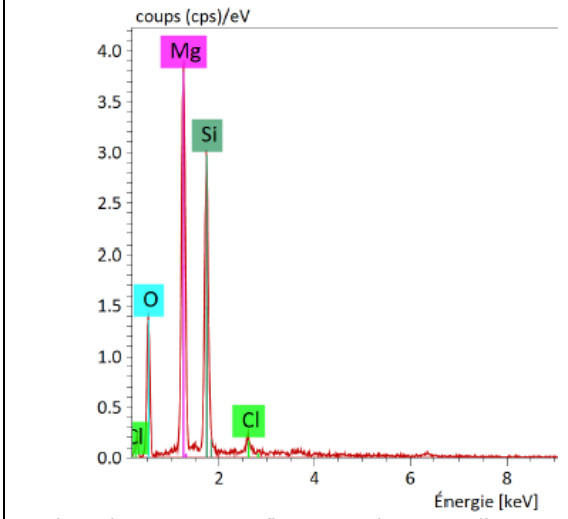
Cliché de la matrice de la couche 2 (rose) au microscope électronique à balayage (x1000)



Analyses chimiques par microfluorescence de rayons X de la matrice de la couche 2



Cliché d'un amas de fibres d'amiante dans la couche 2 (rose) au microscope électronique à balayage (x1000)



Analyses chimiques par microfluorescence de rayons X d'un amas de fibres d'amiante de la couche 2

4.1.11 Echantillon PC6 (90 à 130 mm)

Référence échantillon : 25079-6 (PC6 – 90 à 130 mm)

Observations macroscopiques

Béton de teinte grise, sa charge minérale est composée d'un sable 0/4 et d'un gravier 4/16. Des macropores (de l'ordre du millimètre) sont visibles sur toute la surface de l'échantillon.



Cliché à la loupe binoculaire en lumière naturelle de la section polie (x20)

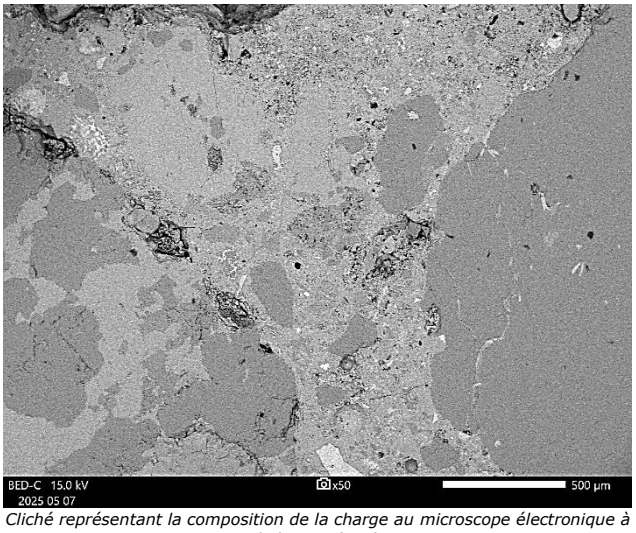
Observations et analyses en microscopie électronique à balayage

L'échantillon présente une microporosité significative sur toute la section polie. Un réseau de fissuration (ordre du micron) très développé est visible dans la matrice et de grain à grain.

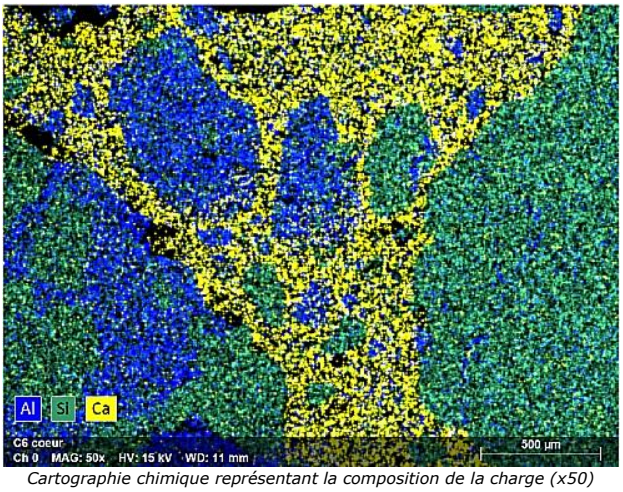
La charge est moyenne (grains jointifs ponctuellement) et homogène sur toute la surface de la section polie. La morphologie de la charge est variable, de subanguleuse à arrondie. La charge est silicatée, composée majoritairement de quartz et de quelques feldspaths. Du charbon est également retrouvé dans la charge.

Le liant est hydraulique, avec un ratio SiO_2 sur CaO de l'ordre de 0,2-0,4. Le liant contient également de l'aluminium et du soufre en faible quantité ainsi que des traces de magnésium, de potassium, et de fer. Des anhydres de type C4AF sont détectés sur toute la surface de l'échantillon, ainsi que des laitiers de hauts fourneaux indiquant l'emploi de ciment de type CEM II.

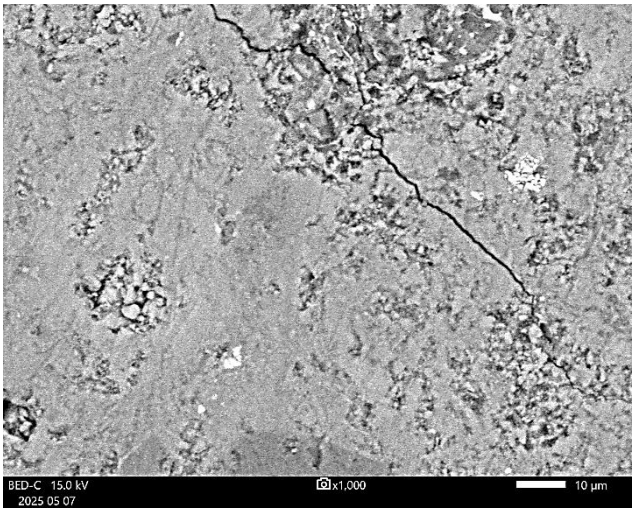
Du chlore est identifié sur toute la surface de la section polie.
Aucune alcali-réaction ni réaction sulfatique n'est détectée.



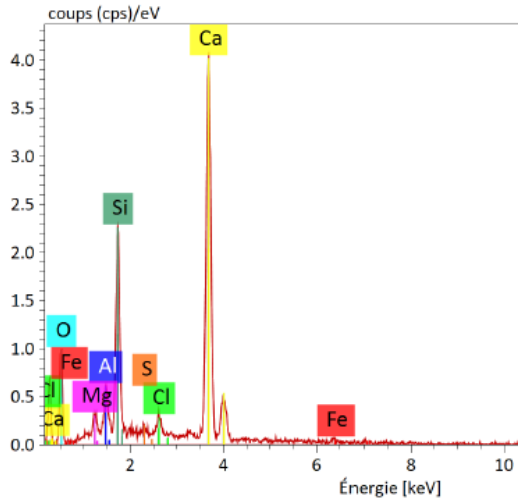
Cliché représentant la composition de la charge au microscope électronique à balayage (x50)



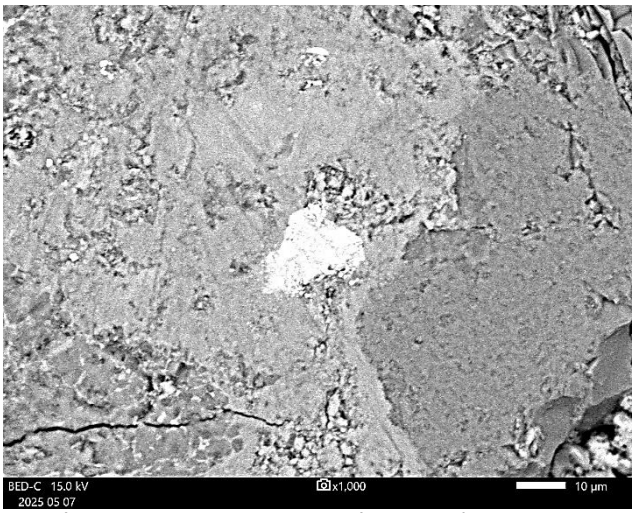
Cartographie chimique représentant la composition de la charge (x50)



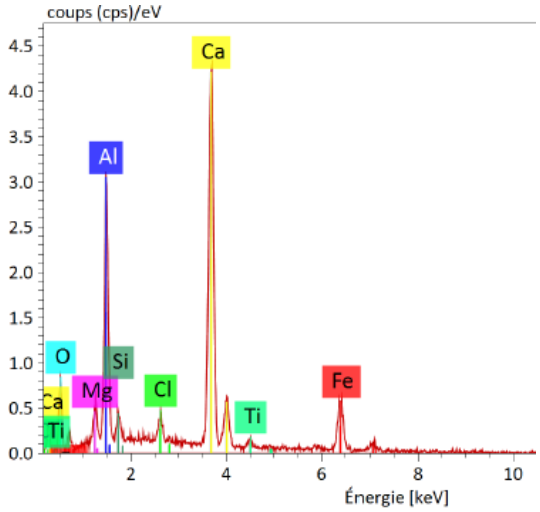
Cliché de la matrice au microscope électronique à balayage (x1000)



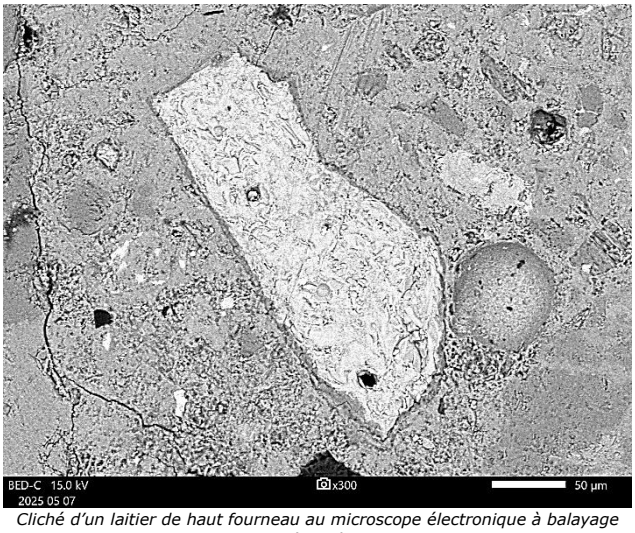
Analyses chimiques par microfluorescence de rayons X de la matrice



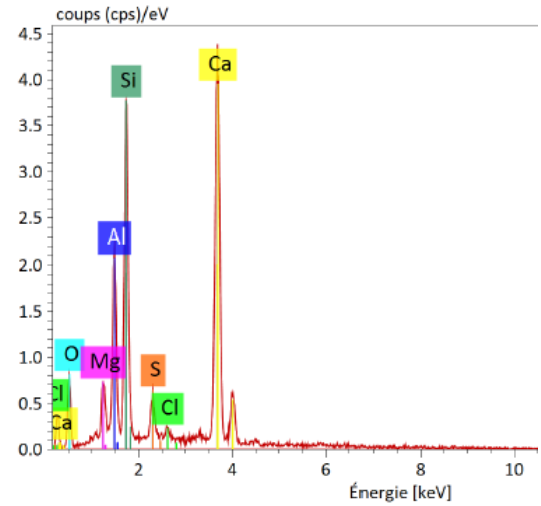
Cliché d'un anhydre C4AF au microscope électronique à balayage (x1000)



Analyses chimiques par microfluorescence de rayons X d'un anhydre C4AF



Cliché d'un laitier de haut fourneau au microscope électronique à balayage (x300)



Analyses chimiques par microfluorescence de rayons X d'un laitier de haut fourneau

4.1.12 Echantillon PC7 (0 à 40 mm)

Référence échantillon : 25079-7 (PC7 – 0 à 40 mm)

Observations macroscopiques

Béton de teinte grise, sa charge minérale est composée d'un sable 0/4 et d'un gravier 4/10. Des macropores (de l'ordre du millimètre) sont visibles sur toute la surface de l'échantillon. Une couche blanche discontinue est visible en surface.



Cliché à la loupe binoculaire en lumière naturelle de la section polie (x20)



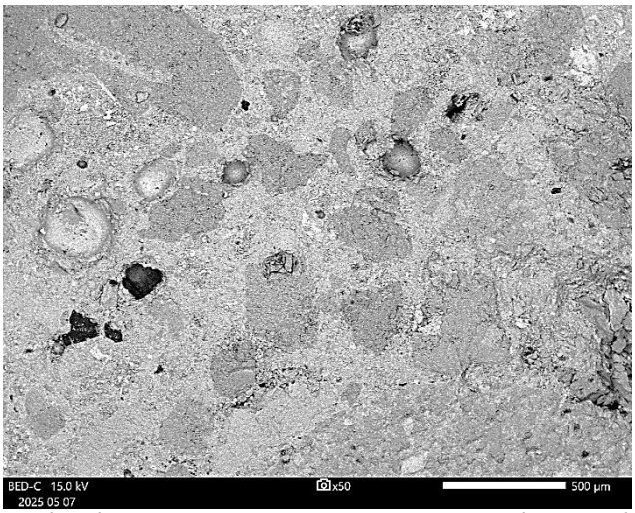
Cliché à la loupe binoculaire en lumière naturelle de la surface de la section polie (x20)

Observations et analyses en microscopie électronique à balayage

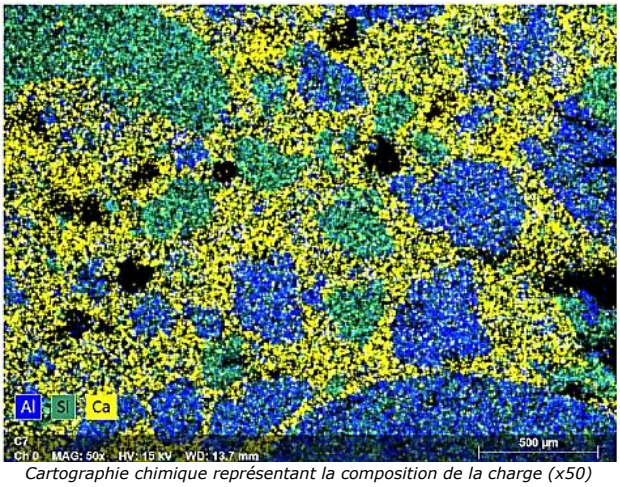
L'échantillon présente une microporosité significative sur toute la section polie. Un réseau de fissuration (ordre du micron) très développé est visible dans la matrice et de grain à grain.

La charge est moyenne (grains jointifs ponctuellement) et homogène sur toute la surface de la section polie. La morphologie de la charge est variable, de subanguleuse à arrondie. La charge est silicatée, composée majoritairement de quartz et de quelques feldspaths. Du charbon est également retrouvé dans la charge.

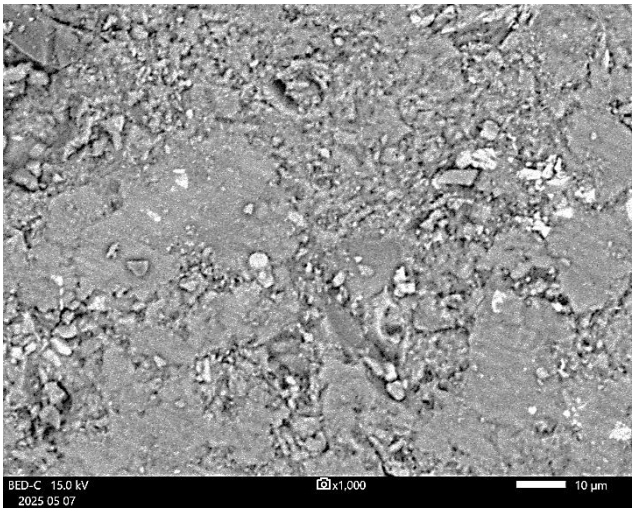
Le liant est hydraulique, avec un ratio SiO_2 sur CaO de l'ordre de 0,2-0,4. Le liant contient également de l'aluminium et du soufre en faible quantité ainsi que des traces de magnésium, de potassium, de sodium et de fer. Des anhydres de type C4AF sont détectés sur toute la surface de l'échantillon, ainsi que des laitiers de hauts fourneaux indiquant l'emploi de ciment de type CEM II.
Du chlore est identifié sur toute la surface de la section polie.
Aucune alcali-réaction ni réaction sulfatique n'est détectée.
La couche de surface blanche correspond à du plâtre (sulfate de calcium).



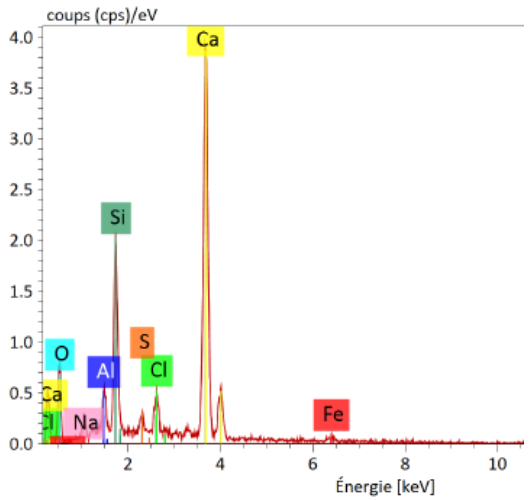
Cliché représentant la composition de la charge au microscope électronique à balayage (x50)



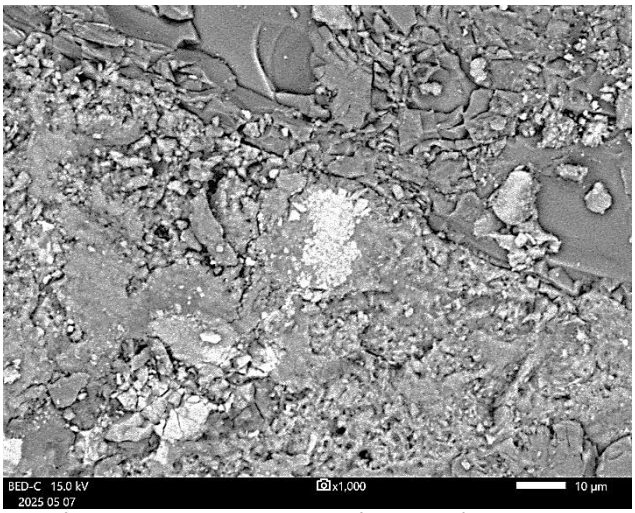
Cartographie chimique représentant la composition de la charge (x50)



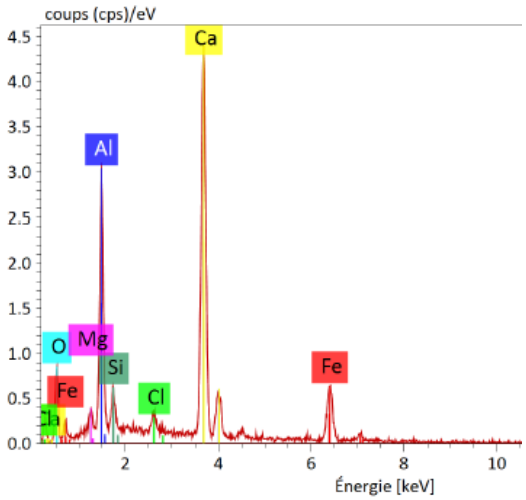
Cliché de la matrice au microscope électronique à balayage (x1000)



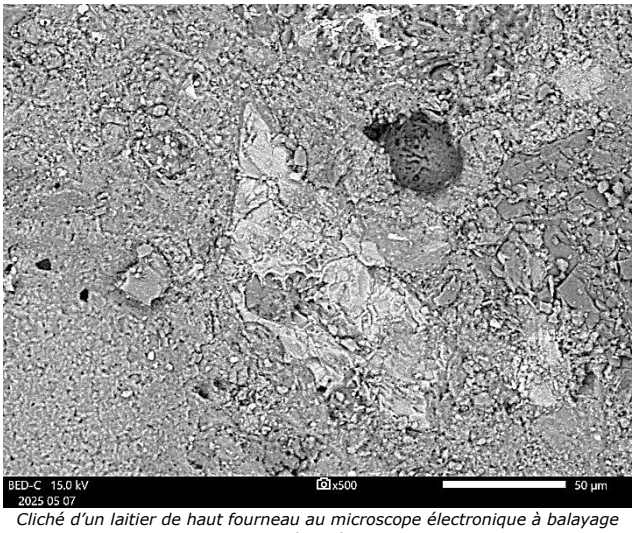
Analyses chimiques par microfluorescence de rayons X de la matrice



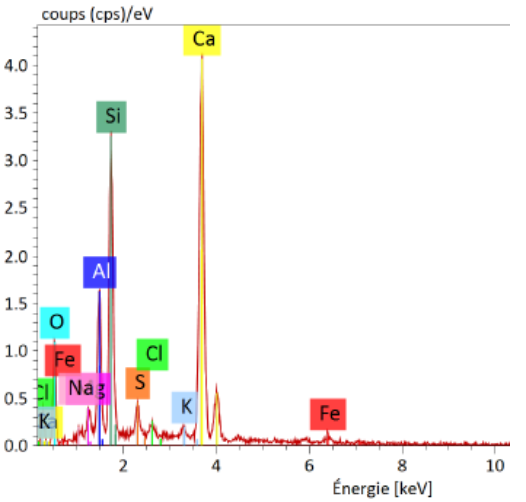
Cliché d'un anhydre C4AF au microscope électronique à balayage (x1000)



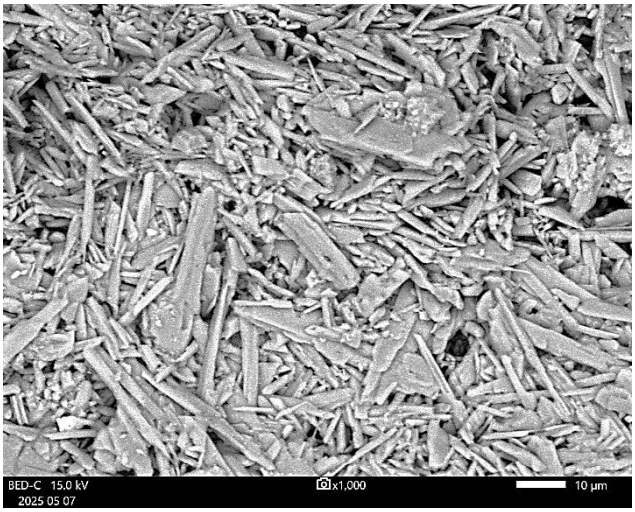
Analyses chimiques par microfluorescence de rayons X d'un anhydre C4AF



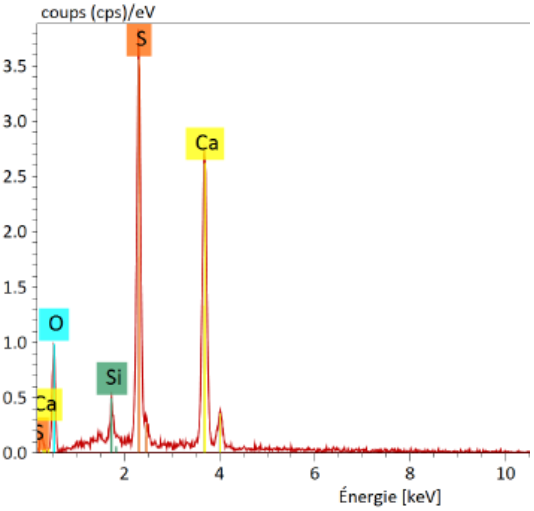
Cliché d'un laitier de haut fourneau au microscope électronique à balayage (x500)



Analyses chimiques par microfluorescence de rayons X d'un laitier de haut fourneau



Cliché de la matrice de la couche de surface au microscope électronique à balayage (x1000)



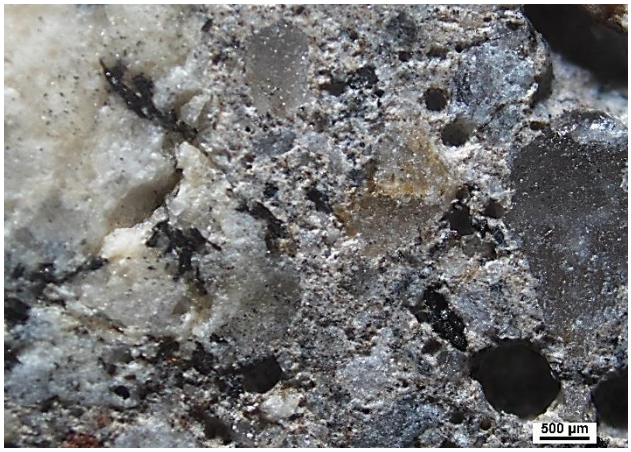
Analyses chimiques par microfluorescence de rayons X de la matrice de la couche de surface

4.1.13 Echantillon PC7 (110 à 150 mm)

Référence échantillon : 25079-7 (PC7 – 110 à 150 mm)

Observations macroscopiques

Béton de teinte grise, sa charge minérale est composée d'un sable 0/4 et d'un gravier 4/10. Des macropores (de l'ordre du millimètre) sont visibles sur toute la surface de l'échantillon.



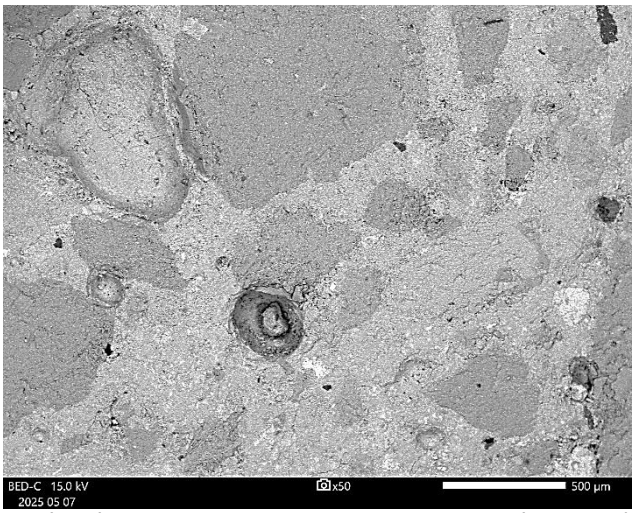
Cliché à la loupe binoculaire en lumière naturelle de la section polie (x20)

Observations et analyses en microscopie électronique à balayage

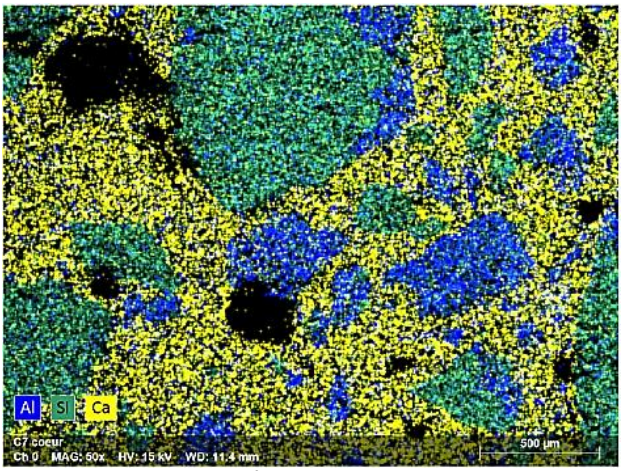
L'échantillon présente une microporosité significative sur toute la section polie. Un réseau de fissuration (ordre du micron) très développé est visible dans la matrice et de grain à grain.

La charge est moyenne (grains jointifs ponctuellement) et homogène sur toute la surface de la section polie. La morphologie de la charge est variable, de subanguleuse à arrondie. La charge est silicatée, composée majoritairement de quartz et de quelques feldspaths. Du charbon et du tuileau sont également retrouvés dans la charge.

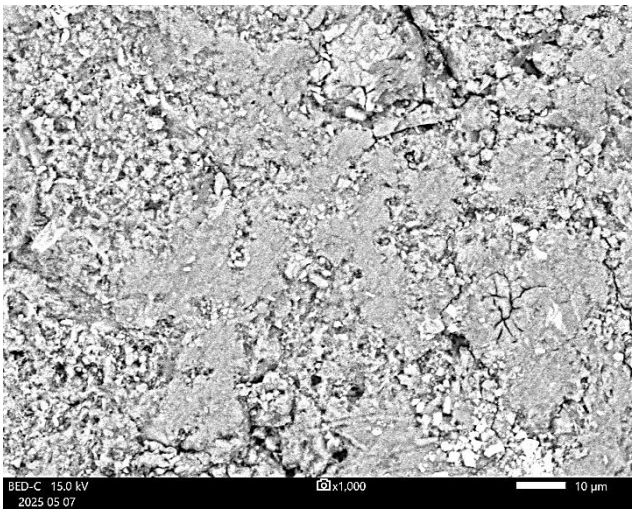
Le liant est hydraulique, avec un ratio SiO_2 sur CaO de l'ordre de 0,2-0,4. Le liant contient également de l'aluminium et du soufre en faible quantité ainsi que des traces de magnésium, de potassium, de sodium et de fer. Des anhydres de type C4AF sont détectés sur toute la surface de l'échantillon, ainsi que des laitiers de hauts fourneaux indiquant l'emploi de ciment de type CEM II.
Du chlore est identifié sur toute la surface de la section polie.
Aucune alcali-réaction ni réaction sulfatique n'est détectée.



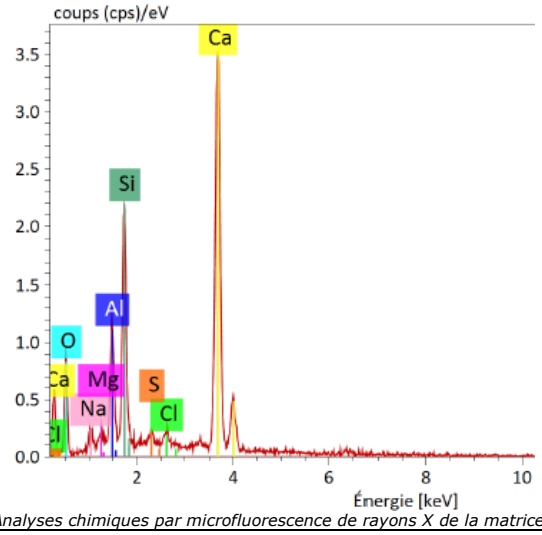
Cliché représentant la composition de la charge au microscope électronique à balayage (x50)



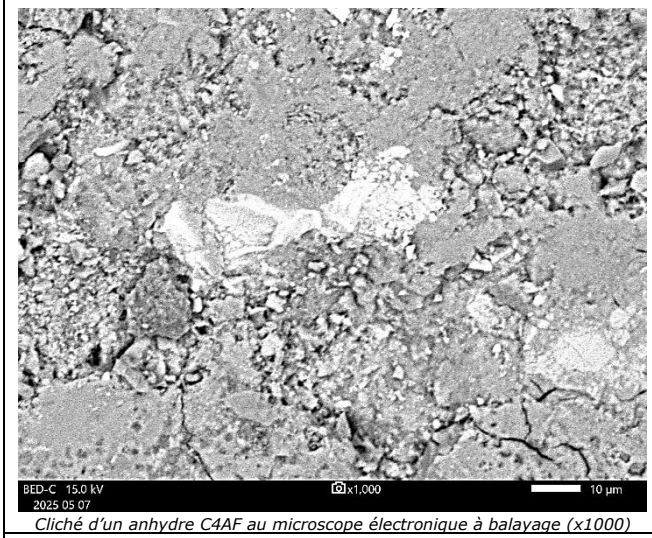
Cartographie chimique représentant la composition de la charge (x50)



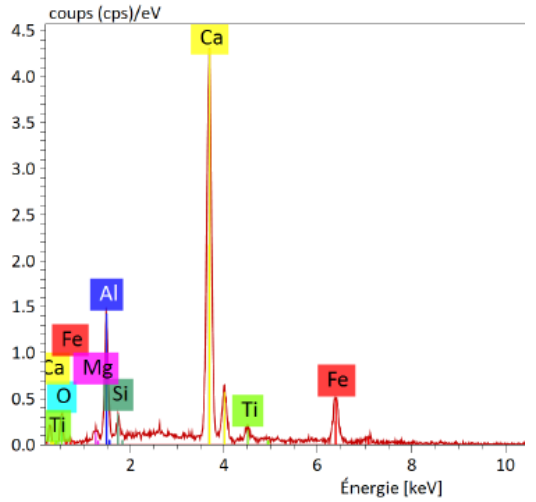
Cliché de la matrice au microscope électronique à balayage (x1000)



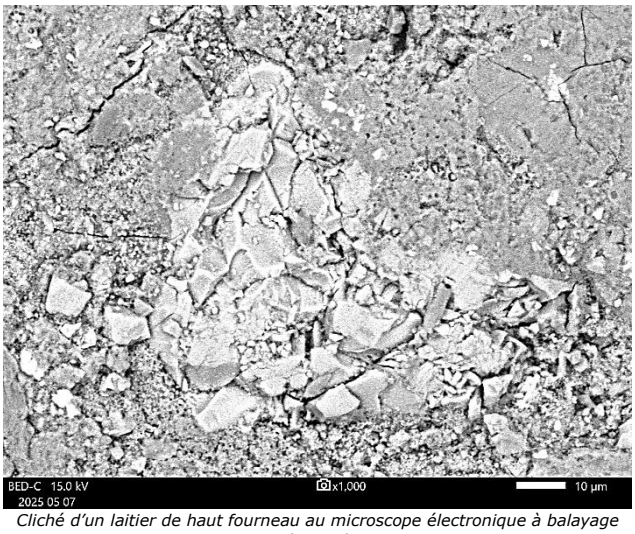
Analyses chimiques par microfluorescence de rayons X de la matrice



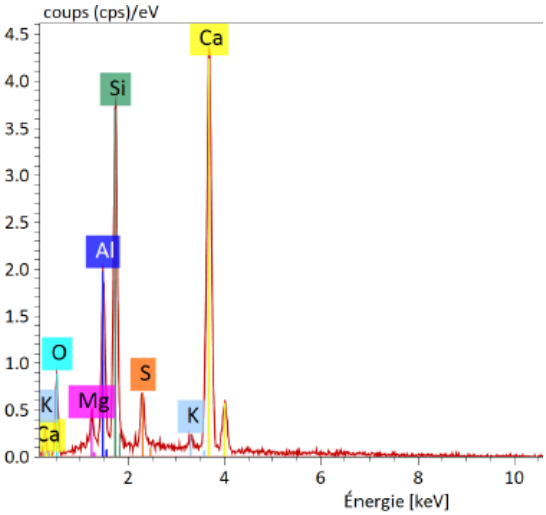
Cliché d'un anhydre C4AF au microscope électronique à balayage (x1000)



Analyses chimiques par microfluorescence de rayons X d'un anhydre C4AF



Cliché d'un laitier de haut fourneau au microscope électronique à balayage (x1000)



Analyses chimiques par microfluorescence de rayons X d'un laitier de haut fourneau

4.1.14 Echantillon PC8 (0 à 40 mm)

Référence échantillon : 25079-8 (PC8 – 0 à 40 mm)

Observations macroscopiques

Béton de teinte grise, sa charge minérale est composée d'un sable 0/4 et d'un gravier 4/16. Des macropores (de l'ordre du millimètre) sont visibles sur toute la surface de l'échantillon.



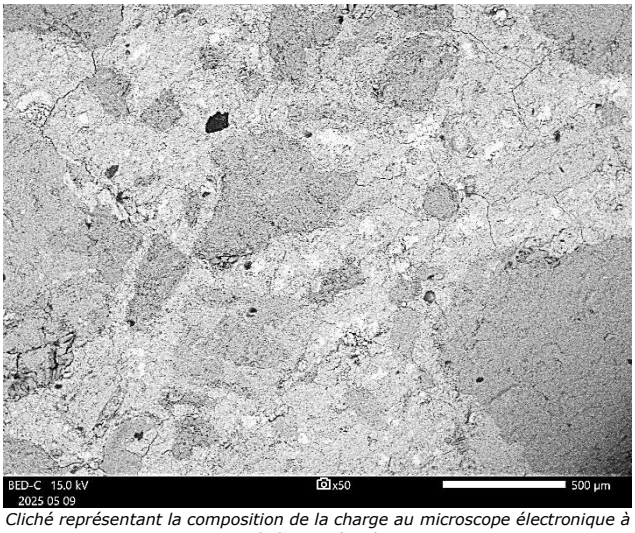
Cliché à la loupe binoculaire en lumière naturelle de la section polie (x20)

Observations et analyses en microscopie électronique à balayage

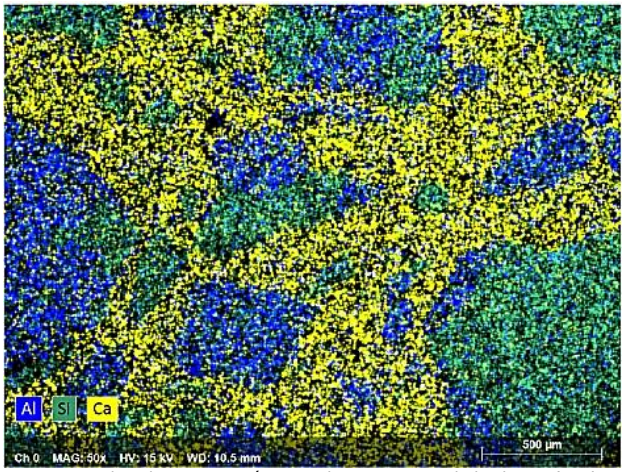
L'échantillon présente une microporosité significative sur toute la section polie. Un réseau de fissuration (ordre du micron) très développé est visible dans la matrice et de grain à grain.

La charge est moyenne (grains jointifs ponctuellement) et homogène sur toute la surface de la section polie. La morphologie de la charge est variable, de subanguleuse à arrondie. La charge est silicatée, composée majoritairement de quartz et de quelques feldspaths. Du charbon est également retrouvé dans la charge.

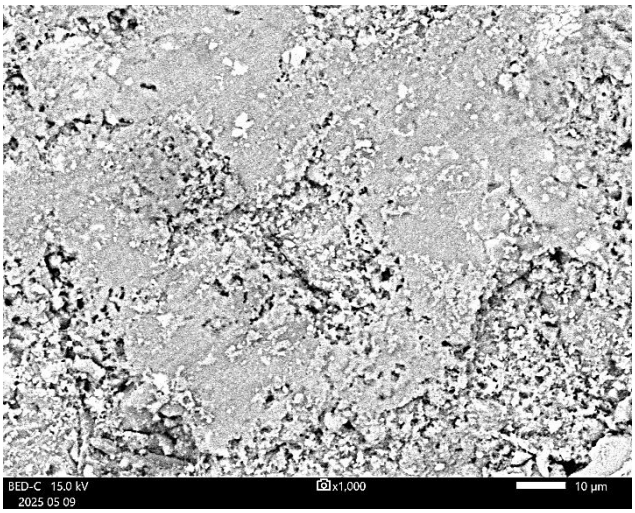
Le liant est hydraulique, avec un ratio SiO_2 sur CaO de l'ordre de 0,2-0,4. Le liant contient également de l'aluminium et du soufre en faible quantité ainsi que des traces de sodium et de fer. Des anhydres de type C2S sont détectés sur toute la surface de l'échantillon, indiquant l'emploi de ciment de type CEM I.
Aucune alcali-réaction ni réaction sulfatique n'est détectée.



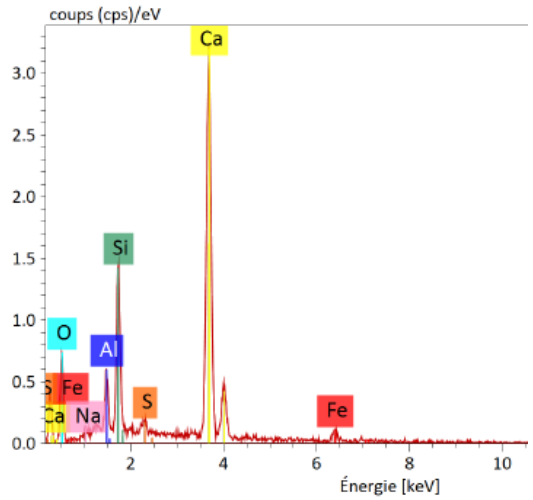
Cliché représentant la composition de la charge au microscope électronique à balayage (x50)



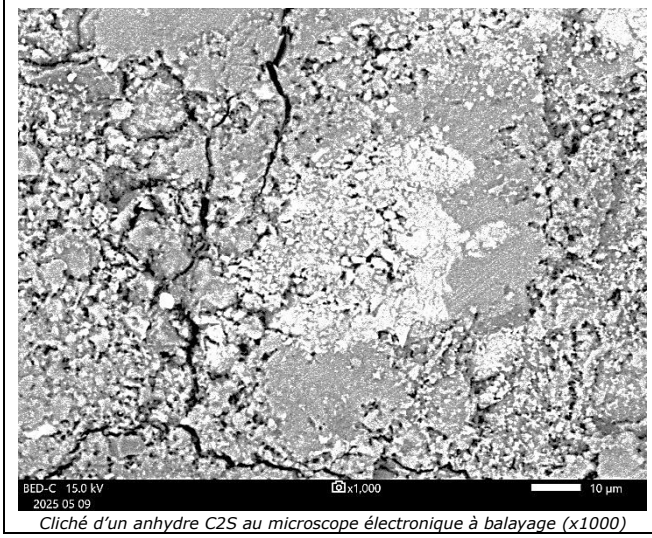
Cartographie chimique représentant la composition de la charge (x50)



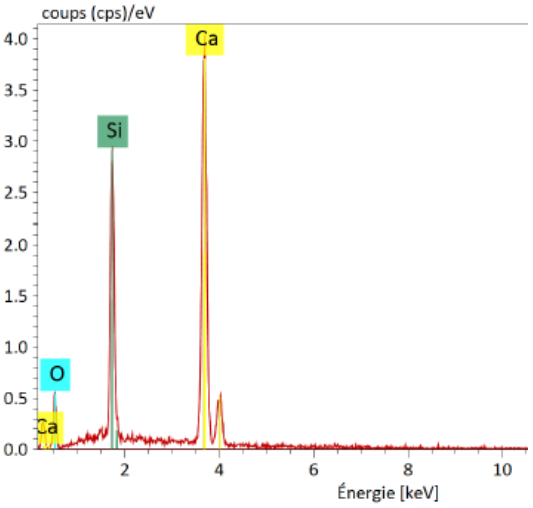
Cliché de la matrice au microscope électronique à balayage (x1000)



Analyses chimiques par microfluorescence de rayons X de la matrice



Cliché d'un anhydre C2S au microscope électronique à balayage (x1000)



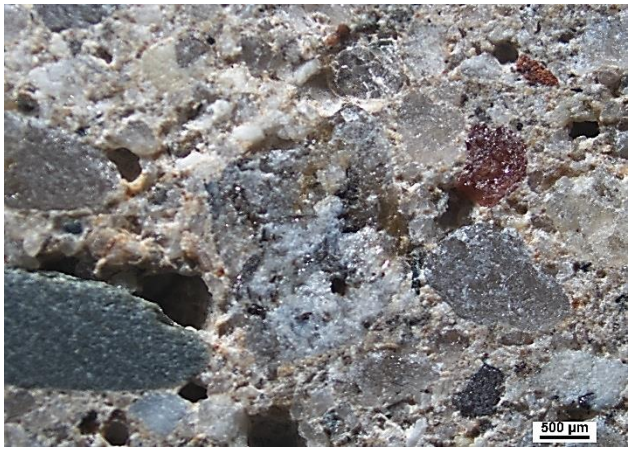
Analyses chimiques par microfluorescence de rayons X d'un anhydre C2S

4.1.15 Echantillon PC8 (120 à 160 mm)

Référence échantillon : 25079-8 (PC8 – 120 à 160 mm)

Observations macroscopiques

Béton de teinte gris-bleue, sa charge minérale est composée d'un sable 0/4 et d'un gravier 4/10. Des macropores (de l'ordre du millimètre) sont visibles sur toute la surface de l'échantillon.



Cliché à la loupe binoculaire en lumière naturelle de la section polie (x20)

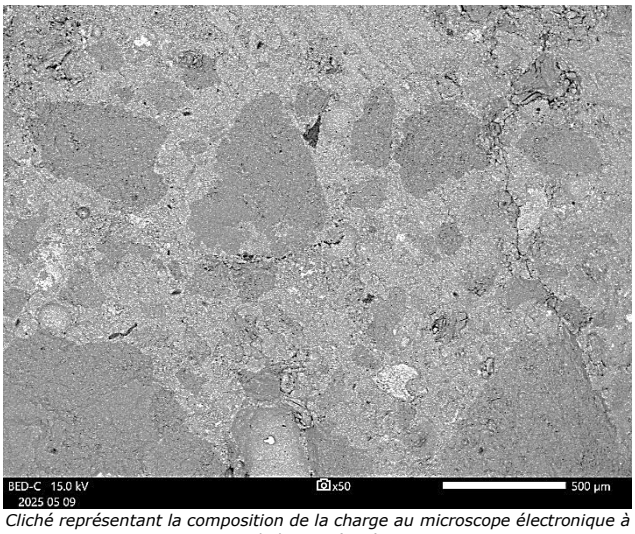
Observations et analyses en microscopie électronique à balayage

L'échantillon présente une microporosité significative sur toute la section polie. Un réseau de fissuration (ordre du micron) très développé est visible dans la matrice et de grain à grain.

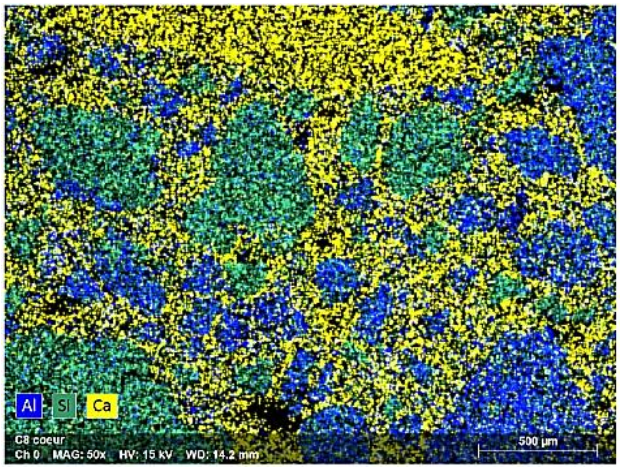
La charge est moyenne (grains jointifs ponctuellement) et homogène sur toute la surface de la section polie. La morphologie de la charge est variable, de subanguleuse à arrondie. La charge est silicatée, composée majoritairement de quartz et de quelques feldspaths. Du charbon et du tuileau sont également retrouvés dans la charge.

Le liant est hydraulique, avec un ratio SiO_2 sur CaO de l'ordre de 0,1-0,3. Le liant contient également de l'aluminium et du soufre en faible quantité ainsi que des traces de magnésium, de potassium, de sodium et de fer. Des anhydres de type C4AF sont détectés sur toute la surface de l'échantillon, ainsi que des laitiers de hauts fourneaux indiquant l'emploi de ciment de type CEM II.

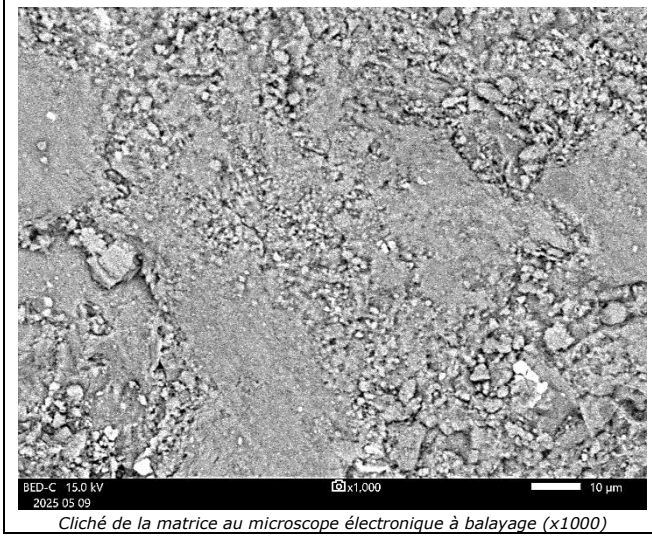
Du chlore est identifiée sur toute la surface de la section polie.
Aucune alcali-réaction ni réaction sulfatique n'est détectée.



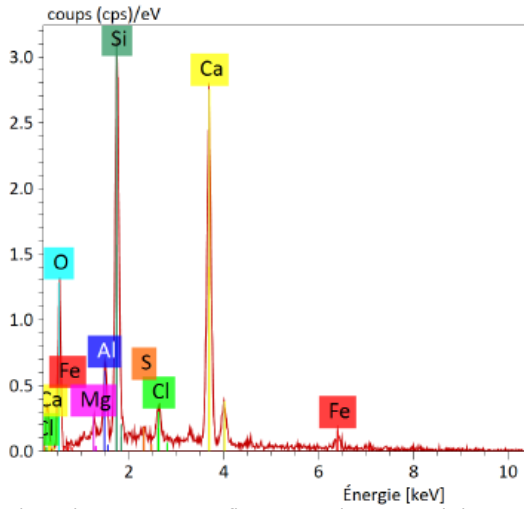
Cliché représentant la composition de la charge au microscope électronique à balayage (x50)



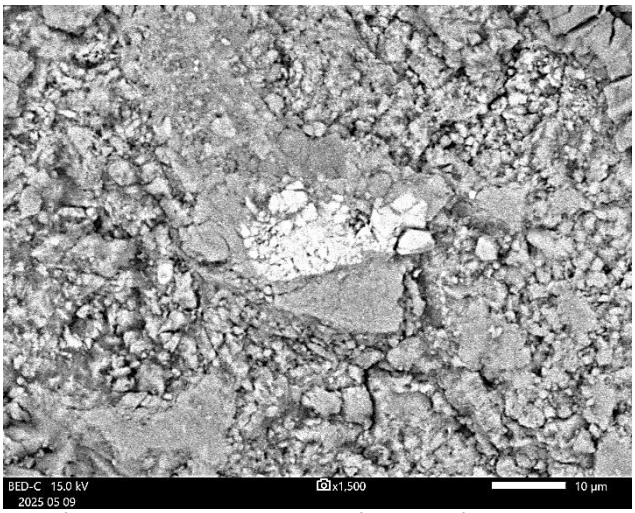
Cartographie chimique représentant la composition de la charge (x50)



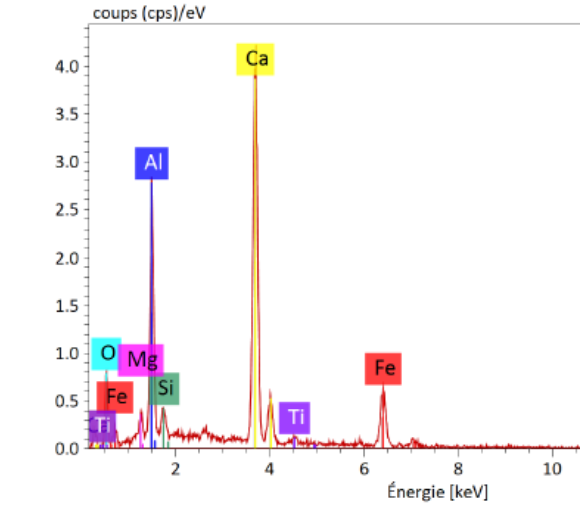
Cliché de la matrice au microscope électronique à balayage (x1000)



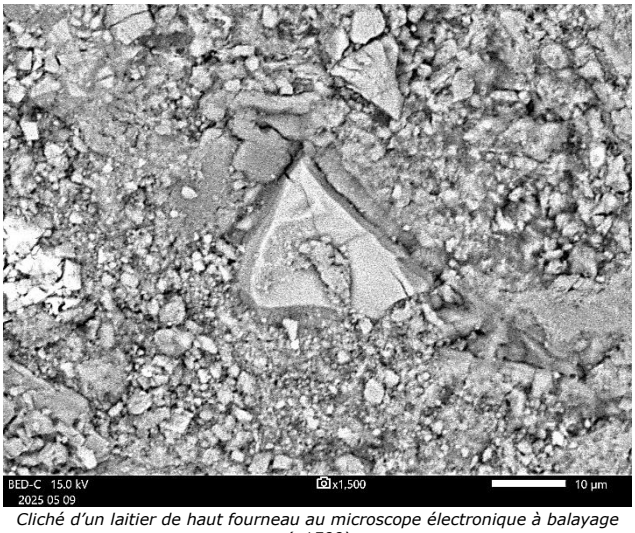
Analyses chimiques par microfluorescence de rayons X de la matrice



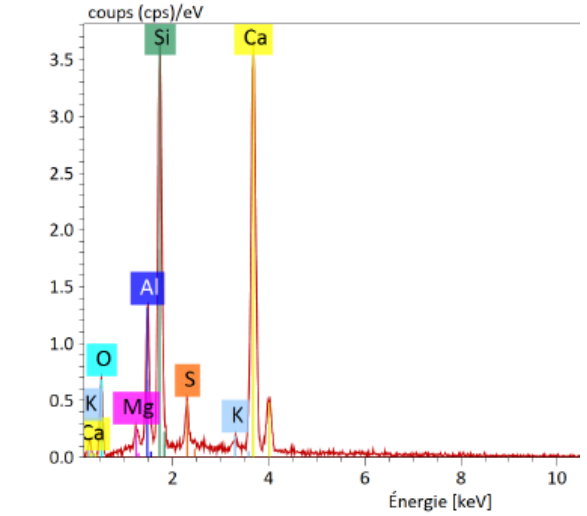
Cliché d'un anhydre C4AF au microscope électronique à balayage (x1500)



Analyses chimiques par microfluorescence de rayons X d'un anhydre C4AF



Cliché d'un laitier de haut fourneau au microscope électronique à balayage (x1500)



Analyses chimiques par microfluorescence de rayons X d'un laitier de haut fourneau

4.2 Porosité ouverte à l'eau et masse volumique apparente

L'objectif de ces mesures est de déterminer la masse volumique apparente et la porosité ouverte à l'eau des bétons à caractériser. Les résultats sont présentés dans le tableau 1, pour chacune des éprouvettes testées par échantillon, associés aux moyennes et écart-types par échantillon. Les éprouvettes ont été préparées dans les intervalles demandés par GEOTEC, dans la couche profonde de béton pour chaque carotte afin d'éviter des biais de mesure sur les couches de surface (rappelé dans le tableau, à côté des références).

Référence GEOTEC	Echantillon	Masse volumique apparente (kg/m³)	Porosité ouverte (%)	Moyenne et *écart-type* masse volumique apparente (kg/m³)	Moyenne et *écart-type* porosité ouverte (%)
PC1 (80-230mm)	PC1 a	2435	9,3	**2300** *83*	**11,6** *2,0*
	PC1 b	2338	10,3		
	PC1 c	2335	10,5		
	PC1 d	2285	11,8		
	PC1 e	2236	13,1		
	PC1 f	2204	14,6		
PC2 (60-240mm)	PC2 a	2338	9,5	**2330** *19*	**10,0** *0,7*
	PC2 b	2314	9,9		
	PC2 c	2326	10,1		
	PC2 d	2299	11,1		
	PC2 e	2331	9,9		
	PC2 f	2353	9,2		
PC3 (50-100mm)	PC3 a	2301	10,9	**2310** *35*	**10,9** *1,3*
	PC3 b	2276	12,4		
	PC3 c	2358	9,2		
	PC3 d	2308	11,0		
PC4 (60-220mm)	PC4 a	2301	10,8	**2290** *42*	**11,5** *1,6*
	PC4 b	2277	11,5		
	PC4 c	2273	12,1		
	PC4 d	2249	13,1		
	PC4 e	2367	8,8		
	PC4 f	2262	12,8		
PC5 (10-80mm)	PC5 a	2176	16,7	**2175** *2*	**16,5** *0,4*
	PC5 b	2172	15,9		
	PC5 c	2176	16,9		
PC6 (30-68mm)	PC6 a	2309	11,9	**2260** *41*	**13,5** *1,4*
	PC6 b	2210	14,9		
	PC6 c	2211	15,2		
	PC6 d	2307	11,7		
	PC6 e	2247	13,8		
PC7 (30-110mm)	PC7 a	2183	16,0	**2250** *51*	**14,1** *1,8*
	PC7 b	2262	13,7		
	PC7 c	2279	13,3		
	PC7 d	2305	11,9		
	PC7 e	2316	12,1		
	PC7 f	2170	17,5		
PC8 (30-160mm)	PC8 a	2236	15,2	**2230** *20*	**14,7** *1,1*
	PC8 b	2228	14,4		
	PC8 c	2204	16,4		
	PC8 d	2240	14,0		
	PC8 e	2261	13,3		
	PC8 f	2290	14,1		

Tableau 1 : Masse volumique apparente et porosité ouverte à l'eau des échantillons de bétons

Les valeurs de masses volumiques apparentes correspondent à un béton normal (valeurs comprises entre 2000 et 2600 kg/m³), relativement proches (±100 kg/m³) de la valeur de référence des bétons standards (2200 kg/m³) pour les huit échantillons. Les moyennes de porosité ouverte sont toutes comprises entre 10% et 20%, ce qui correspond aux valeurs standards.

4.3 Contamination saline

L'objectif de ces mesures est de doser le niveau de chlorures libres, de sulfates et d'alcalins (Na, K) présent dans les bétons à caractériser. Le tableau 2 présente les résultats de ces dosages, exprimés en pourcentage massique de béton. Il comprend également des estimations de teneur de sels rapportées à la masse de ciment (grandeur commentée dans les normes) calculées à partir des données d'un béton standard (masse volumique de 2200 kg/m^3, teneur en ciment de 300 kg/m^3).

Références Prélèvements	Pourcentages massiques ramenés au volume de béton					Pourcentages massiques ramenés au volume de ciment				
	Cl^-	SO_4^-	Na^+	K^+	Σ Alcalins	Cl^-	SO_4^-	Na^+	K^+	Σ Alcalins
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
PC1 0-10	0,12	0,19	0,12	0,08	0,20	0,90	1,42	0,85	0,57	1,4
PC1 30-40	0,13	0,18	0,07	0,06	0,13	0,93	1,35	0,51	0,47	1,0
PC1 70-80	0,04	0,14	0,04	0,06	0,10	0,27	1,00	0,32	0,45	0,8
PC2 5-15	0,16	0,25	0,29	0,12	0,41	1,15	1,84	2,13	0,91	3,0
PC2 25-35	0,22	0,19	0,09	0,05	0,14	1,64	1,39	0,66	0,40	1,1
PC2 50-60	0,08	0,15	0,05	0,06	0,11	0,61	1,08	0,37	0,47	0,8
PC3 0-10	0,96	0,42	0,27	0,09	0,36	7,07	3,09	1,96	0,65	2,6
PC3 20-30	1,20	0,33	0,23	0,08	0,31	8,82	2,46	1,72	0,56	2,3
PC3 50-60	0,26	0,16	0,19	0,10	0,29	1,91	1,20	1,43	0,77	2,2
PC4 0-10	0,08	0,22	0,06	0,08	0,14	0,56	1,63	0,41	0,59	1,0
PC4 30-40	0,05	0,13	0,05	0,08	0,13	0,39	0,94	0,40	0,62	1,0
PC4 50-60	0,06	0,14	0,04	0,06	0,10	0,41	1,06	0,28	0,47	0,7
PC5 10-20	0,02	0,10	0,05	0,08	0,13	0,17	0,71	0,40	0,57	1,0
PC5 40-50	0,03	0,13	0,03	0,06	0,09	0,23	0,95	0,23	0,41	0,6
PC5 70-80	0,03	0,13	0,04	0,07	0,11	0,19	0,92	0,29	0,53	0,8
PC6 0-10	0,04	0,11	0,03	0,06	0,09	0,28	0,77	0,23	0,47	0,7
PC6 10-20	<0,02	0,10	0,02	0,04	0,06	<0,15	0,70	0,17	0,31	0,5
PC6 20-30	0,02	0,09	0,03	0,06	0,09	0,15	0,66	0,20	0,43	0,6
PC7 0-10	0,03	1,76	0,06	0,06	0,12	0,19	12,92	0,42	0,42	0,8
PC7 10-20	0,03	0,10	0,05	0,05	0,10	0,21	0,73	0,34	0,38	0,7
PC7 20-30	0,04	0,12	0,05	0,06	0,11	0,29	0,86	0,38	0,42	0,8
PC8 0-10	<0,02	0,38	0,02	0,04	0,06	<0,15	2,79	0,17	0,31	0,5
PC8 10-20	<0,02	0,52	0,03	0,05	0,08	<0,15	3,80	0,19	0,35	0,5
PC8 20-30	<0,02	0,14	0,03	0,08	0,11	<0,15	1,00	0,25	0,61	0,9

Tableau 2 : Teneurs en chlorures libres, sulfates, sodium et potassium exprimés en pourcentage massique de l'échantillon transmis, ramenées à des volumes de ciment pour une teneur estimée à 300 kg/m^3
En gris : valeurs en deçà du seuil de détection, en orange : valeurs proches du seuil limite, en rouge : valeurs dépassant le seuil limite

Les **teneurs en chlorures** des échantillons **PC5, PC6, PC7 et PC8** ramenées à la masse de ciment (estimée à 13,64% pour un selon les données fournies par GEOTEC) sont inférieures au seuil de 0,4% préconisé par la norme EN 206 CN+A2/CN pour les bétons armés, donc à fortiori au seuils de 0,65% pour les bétons armés à base de CEM III et à celui de 1,00% pour les bétons ne contenant pas d'armature en acier ou de pièces métalliques noyées : **aucune contamination aux chlorures** n'est donc détectée dans ces échantillons. Les carottes **PC1, PC2, PC3 et PC4** présentent des taux de chlorures supérieures au seuil de 0,4 et proches du seuil de 1,00% (PC3 les dépassant largement). Ces carottes présentent une **contamination importante en chlorures, même à cœur**.

Concernant le **taux de sulfates**, le seuil communément admis pour les ciments CEM II-BS et CEM III est respectivement de 3,5% et 5% massique de ciment. L'échantillon de **surface de PC7** présente un taux **largement supérieur à la limite de 5%** de manière très superficielle (0-10 mm). L'échantillon de **surface de PC8** présente quant à lui un **taux de 3,8% dans la tranche 10-20 mm,** supérieur à la norme pour les ciments CEM II-BS mais inférieur au seuil pour le ciment CEM III. **Une contamination en sulfates** est donc suspectée selon la nature du ciment employé pour ces deux échantillons mais seulement de manière assez superficielle. Les autres carottes, ne présentent aucune contamination aux sulfates.

Les recommandations du LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussés) sont de 3,0 à 3,5 kg/m^3 d'alcalins dans un béton, soit environ 0,12% à 0,15%massique d'alcalins dans un béton pour une masse volumique de 2200 kg/m^3. Les **teneurs en alcalins** (sodium, potassium) sont **négligeables pour les échantillons PC6 et PC8** (systématiquement <0,12% de béton) et **acceptables** pour les échantillons **PC4, PC5 et PC7** (faible contamination et plutôt superficielle). Une **contamination significative aux alcalins** (≥0,2%) est détectée superficiellement sur **PC1 et PC2** (0-10 mm et 5-15 mm respectivement), ainsi que sur tous les échantillons de **PC3** (0-60 mm).

4.4 Dosage en ciment

L'objectif de ces mesures est d'estimer le dosage en ciment sur la base de la teneur en silice soluble, de la masse volumique apparente du béton et de la nature supposée du ciment employé. Les teneurs en ciment sont basées sur les valeurs théoriques de teneurs en silice en fonction de la nature du ciment, selon le GranDuBé (Presses de l'école nationale des Ponts et chaussées, 2007). Le tableau 3 présente les résultats de ces dosages de silice, exprimés en kg/t de matière sèche à 60°C et en pourcentage massique de l'échantillon analysé, les teneurs en ciment estimées en pourcentage massique et le dosage de ciment estimé en kg/m^3.

Référence Prélèvements	Silice soluble		Teneur en ciment			Dosage en ciment		
	kg/t	%	% (si CEM I)	% (si CEM II/A)	% (si CEM III/A)	kg/m3 (Si CEM I)	kg/m3 (Si CEM II/A)	kg/m3 (Si CEM III/A)
PC1	11,0	1,10	11,43	10,19	9,01	251	224	198
PC2	15,1	1,51	15,77	14,05	12,43	347	309	273
PC3	9,3	0,93	9,66	8,61	7,62	213	190	168
PC4	12,7	1,27	13,26	11,82	10,45	292	260	230
PC5	4,7	0,47	4,92	4,39	3,88	108	96	85
PC6	5,8	0,58	6,05	5,39	4,77	133	119	105
PC7	6,3	0,63	6,60	5,88	5,20	145	129	114
PC8	4,2	0,42	4,35	3,87	3,43	96	85	75

Tableau 3 : teneurs en silice soluble, extraite selon la méthode GranDuBé et exprimés en kg/t et en pourcentage massique de l'échantillon transmis. Teneurs en ciment exprimés en pourcentage massique et dosages en ciment exprimés en kg/m3 ; estimés avec l'emploi de ciment CEM I, CEM II/A-S et CEM III/A.
Fond vert : hypothèse privilégiée sur la base des observations MEB

Les valeurs obtenues pour le dosage en ciment s'appuient sur la teneur théorique moyenne fournie par le GranDuBé pour un ciment de type CEM I et CEM II/A. Ces estimations sont toutes inférieurs à celle des valeurs classiques de béton armés (environ 350 kg/m^3) dans l'hypothèse d'emploi de CEM II/A ou CEM I pour la carotte PC3. Les teneurs les plus faibles concernent les prélèvements PC5 à PC8 (teneurs en ciment estimées inférieures à 130 kg/m^3).

5 Synthèse

Huit carottes de bétons ont été observées en microscopie électronique à balayage. Sur chacune (sauf PC5), deux sections polies ont été réalisées : une en surface, l'autre à cœur, pour identifier la nature du liant et de la charge et relever les éventuelles pathologies du béton en fonction de la profondeur.

La charge de toutes les carottes est silicatée, composée de quartz et de feldspaths, avec un sable 0/4 et un gravillon 4/16. Des tuileaux et du charbon sont également identifiés dans la charge. Les observations macroscopiques révèlent l'utilisation de gravier pouvant atteindre 30 mm de diamètre (classe granulaire 0/30), incluant des coquilles de bivalves ou de gastéropodes. Aucune particule fine n'est retrouvée dans la matrice, ce qui suggère que la charge a été lavée avant usage.

Dans la matrice, des anhydres cimentaires de type C2S/C3S ou C4AF sont retrouvés dans toutes les carottes. De plus, des laitiers sont identifiés dans tous les échantillons sauf pour la carotte PC3, les échantillons de surface de PC4 (mortier CEM I) et PC8 (béton CEM I), ce qui indique l'emploi d'un ciment de type CEM II/A-S ou CEM II/B-S (moins de 35% de laitier d'après les estimations visuelles). Certains échantillons de surface présentent des couches d'enduit de nature variée :

- PC 2 : mortier fin avec un ciment CEM II et une charge silicatée ;
- PC 3 : fausse pierre en résine, puis mortier fin avec un ciment CEM II et une charge silicatée ;
- PC 4 : mortier fin avec un ciment CEM II et une charge silicatée ;
- PC 5 : mortier fin avec un ciment CEM II et une charge silicatée ;
- PC 6 : enduit au ciment Sorel avec une charge fine silicatée et **amiantée**, puis enduit au ciment Sorel avec une charge de fibres ;
- PC 7 : enduit au plâtre.

Les échantillons de surface de PC1, PC2 et PC3 présentent des cristallisations de halite (NaCl) visibles au MEB. Ces observations sont confirmées par les dosages en sels solubles, avec une contamination superficielle aux chlorures et aux alcalins détectée pour PC1 et PC2, et plus intense/plus profonde pour PC3. Une contamination de même nature mais moins intense est détectée sur le prélèvement PC4.

En parallèle, la carotte PC7 contient superficiellement un taux de sulfate élevé dû à la couche de plâtre à sa surface. De même, la carotte PC8 est en limite de contamination au sulfate sur 20 mm si nous considérons l'emploi d'un ciment CEM II. A l'inverse, les carottes PC5 et PC6 ne présente pas de contamination saline significative.

Les mesures de teneurs en ciment sont inférieures à la norme d'un béton classique, indiquant soit un sous-dosage en ciment, soit une sous-estimation due à la taille des granulats (rapport liant/charge en faveur de la charge). Les lacunes observées en macroscopie tendent à confirmer l'hypothèse d'un sous-dosage en ciment (béton non-vibré).

Les valeurs de porosité et de masse volumique apparente sont toutes proches de celles des bétons classiques : 2200 kg/m^3 ±100 kg/m^3 et entre 10 et 20 % de porosité.

Fait à Poitiers le 27 mai 2025

La reproduction de ce rapport d'analyse n'est autorisée que sous sa forme intégrale. Il comporte 63 pages. La reproduction partielle ne peut être réalisée qu'avec l'accord préalable de la société ERM.

Les résultats mentionnés ci-dessus ne sont applicables qu'aux échantillons tels qu'ils sont définis dans le présent document.

GROUPE

GÉOTEC

ENSEMBLE, CONCEVONS UN AVENIR DURABLE

NOS SAVOIR-FAIRE

AU SERVICE DE VOS PROJETS

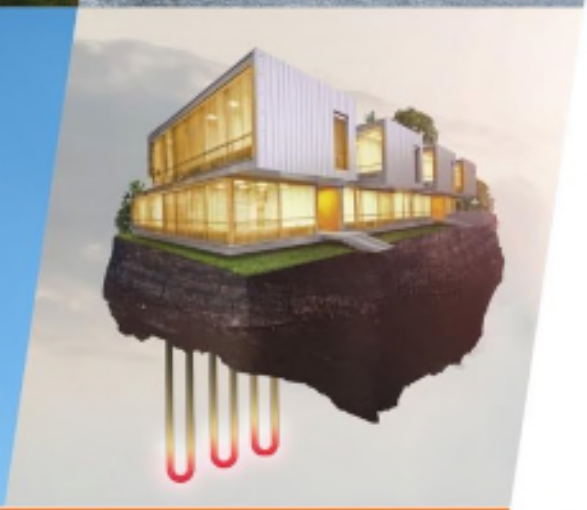












Géotechnique

—

Maritime

—

Environnement

—

Risques Naturels

—

Diagnostic
Structure

—

Géothermie