

Vieillessement naturel du béton armé : expérimentations in situ du PN PERFDUB

L. Adelaïde¹, P. Barthelemy², N. Blanchard³, A. Bonnet¹, V. Bouteiller¹, M. Bouichou⁴, R. Cherif³, F. Cussigh⁵, V. Da-Silva¹, P.-Y. Mahieux³, J. Mai-Nhu², E. Marie-Victoire⁴, M. Rakarabo⁴, Ph. Turcry³

¹ Université Gustave Eiffel, Département Matériaux et Structures – Laboratoire Expérimentation et Modélisation pour le Génie Civil et Urbain, Marne la Vallée

² CERIB, Epernon

³ LaSIE, Laboratoire des Sciences de l'Ingénieur pour l'Environnement, UMR 7356 CNRS, La Rochelle Université, La Rochelle

⁴ Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques, Centre de Recherche sur la Conservation (CRC-USR 3224), Muséum national d'Histoire naturelle, CNRS, Sorbonne Universités, Champs-sur-Marne

⁵ Vinci Construction France, Nanterre

RESUME Dans le cadre du Projet National PERFDUB, un vaste programme expérimental a été lancé sur des corps d'épreuve en béton armé positionnés dans différents milieux naturels. Un suivi du vieillissement du béton et de la corrosion des aciers est prévu sur 20 ans. Les objectifs de l'étude sont multiples : caractériser les performances des bétons en carbonatation et/ou en milieu marin, constituer une base de données sur différentes compositions, évaluer les modèles de prédiction de la durabilité des bétons et de la propagation de la corrosion, évaluer des méthodes d'auscultation non destructive des structures en béton armé. L'article présente le programme expérimental ainsi que les premiers résultats.

Mots-clefs : béton armé, durabilité, corrosion, environnement naturel, instrumentation

I. INTRODUCTION

Les matériaux cimentaires ont toujours fait l'objet de recherches en milieu naturel en complément des études au laboratoire. La plateforme dans le Vieux Port de La Rochelle donne un bon exemple de ce type d'investigations puisqu'on y trouve encore des éprouvettes placées vers 1850 pour étudier en milieu marin le ciment de Louis Vicat. Dans une même stratégie, une vaste campagne a été lancée par le Projet National PERFDUB en 2020 pour un suivi *in situ* de corps d'épreuve en béton armé. Prévu sur 20 ans, ce programme a pour objectif d'étudier l'initiation et la propagation de la corrosion des aciers dans 13 bétons soumis à la carbonatation et/ou à la pénétration des ions chlorure. Cette campagne permettra d'obtenir des données pour évaluer la validité de modèles de

prédiction de la durabilité du béton armé, mais également de tester des méthodes d'auscultation des structures. Nous présentons ici le programme expérimental et les premiers résultats.

II. PROGRAMME EXPERIMENTAL

Le programme porte sur 13 bétons formulés avec deux niveaux de rapport eau efficace sur liant, égal à 0,60 et inférieur ou égal à 0,45. Chaque béton comporte un liant particulier, d'un ciment CEM I à des liants contenant des additions minérales telles que des cendres volantes, un filler calcaire, des laitiers de haut fourneau, une fumée de silice, une addition siliceuse, un métakaolin. Les résistances à la compression de ces bétons à l'âge de 28 jours s'étendent de 30 MPa à 100 MPa.

Les bétons ont été utilisés pour la fabrication de corps d'épreuve armé avec des barres d'acier de 10 mm de diamètre, ronds lisses (RL10) et haute adhérence (HA10). Les ronds lisses sont représentatifs des ouvrages anciens. L'utilisation de ces deux types d'armatures permettra de comparer les réponses obtenues avec différentes techniques d'auscultation non destructives.

Les corps d'épreuve sont des murs d'une largeur de 0,16 m pour une surface de 1 m² dont la stabilité doit être assurée par un pied de 0,40 m de large. La Fig. 1a montre le ferrailage liaisonnant le pied et le mur. Les barres HA10 et RL10, qui font l'objet du suivi de la corrosion, sont "individuelles" car non connectées au reste du ferrailage. L'épaisseur d'enrobage des armatures est de 10 mm sur une face et de 20 mm sur la face opposée. Ce double choix résulte d'un compromis entre la représentativité des dispositions constructives en vigueur et la volonté d'obtenir des résultats sur des échelles de temps différentes et compatible avec la durée d'étude envisagée. Deux corps d'épreuve par formulation ont été coulés et positionnés chacun sur deux sites d'exposition différents (décrits ci-après). Une campagne de carottages est prévue sur 20 ans pour un suivi du vieillissement du matériau (carbonatation, porosité, propriétés de transfert, etc.) et une détermination de profils (par exemple de la concentration des ions chlorure). Les corps d'épreuve sont examinés annuellement avec des méthodes non destructives, notamment pour détecter l'initiation de la corrosion.

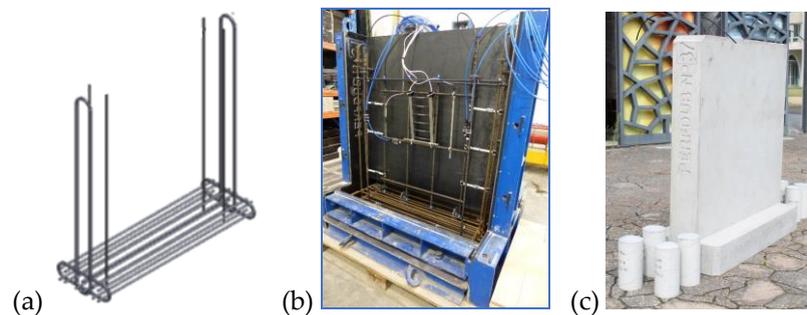


FIGURE 1. Corps d'épreuve : (a) ferrailage, (b) coffrage d'un mur instrumenté, (c) après décoffrage.

En plus de ces 26 corps d'épreuve, des versions instrumentées ont été fabriquées afin de suivre en continu l'évolution du béton et des armatures (Fig. 1b). Des capteurs noyés ou placés dans des réservations permettent de mesurer le potentiel des armatures, la résistivité du béton, le courant,

la température et l'humidité relative. Ces corps d'épreuve instrumentés ont été fabriqués avec 3 bétons choisis parmi les 13 étudiés.

La moitié des corps d'épreuve non instrumentés est installée sur le site du CERIB où ils subiront une carbonatation correspondant à la classe d'exposition XC4 (Fig. 2a). L'autre moitié est soumise à un marnage sur la plateforme Saint-Nicolas à La Rochelle (Fig. 2b). Cette exposition aux ions chlorure correspond à la classe XS3. Les murs instrumentés seront aussi placés en extérieur : 3 en carbonatation sur le campus de l'Université Gustave Eiffel à Marne-La-Vallée (classe XC4) et 3 soumis aux embruns marins sur le site d'Eqiom au Port Atlantique de La Rochelle (classe XS3e).

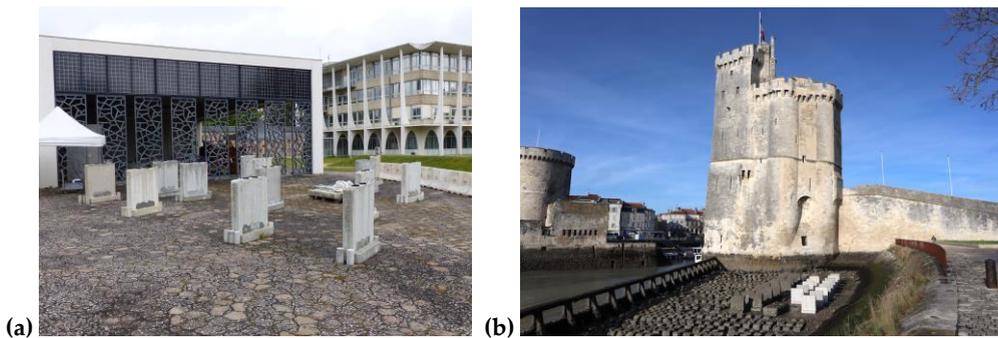


FIGURE 2. Sites de vieillissement naturel des corps d'épreuve : (a) site de carbonatation atmosphérique du CERIB à Epernon, (b) site de marnage au pied de la Tour Saint-Nicolas à La Rochelle.

III. PREMIERS RESULTATS

Le coefficient de migration des ions chlorure (D_{RCM}) a été déterminé selon la norme XP P 18-462 à plus de 180 jours sur 3 carottes de diamètre 80 mm issues des corps d'épreuve. La Fig. 3a montre la grande étendue de performances des bétons de l'étude (Rozière et al, 2009). Le coefficient de migration obtenu sur carottes prélevées en peau des murs est une à plus de deux fois supérieur à celui obtenu au cœur (Fig. 3b). La peau est a priori dégradée par différents phénomènes (hydratation incomplète, carbonatation, fissuration).

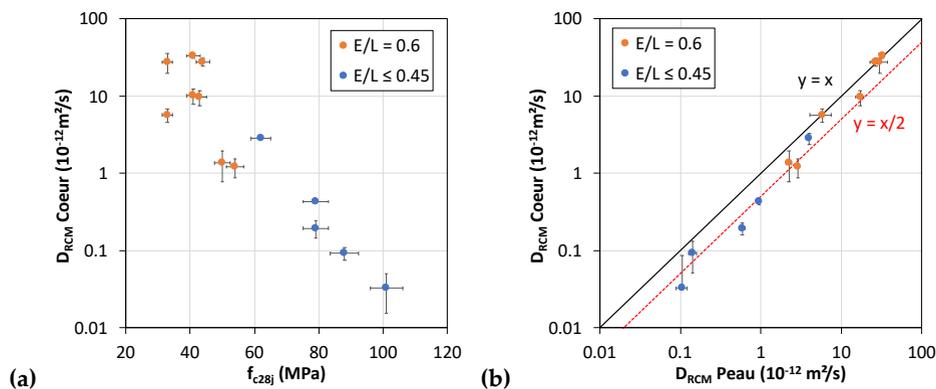


FIGURE 3. Coefficient de migration des chlorures obtenu sur carottes prélevées au cœur du mur en fonction de la résistance à 28 jours (a) et du coefficient obtenu sur carottes en peau du mur (b).

La Fig. 4 donne, à titre d'exemple, l'évolution de la résistance électrique du béton à différentes profondeurs dans le mur depuis la fabrication et la mise en exposition en conditions naturelles à Epernon sur une centaine de jours. Ces résultats ont été obtenus grâce aux mesures en continu d'un capteur MultiRingElectrode noyé dans le mur instrumenté du béton 31. On observe un effet marqué des cycles d'humidification / séchage en peau du mur (5-10mm), voire bien au-delà après 28 jours. Au cœur du mur, l'augmentation de la résistance électrique jusqu'à environ 90 jours est la conséquence de l'hydratation lente du ciment au laitier utilisée pour ce béton. Ces résultats illustrent l'intérêt d'un capteur noyé pour le suivi d'ouvrages en béton armé, car l'état hydrique et la résistivité sont les principaux paramètres influençant la corrosion (Bouteiller et al. 2021).

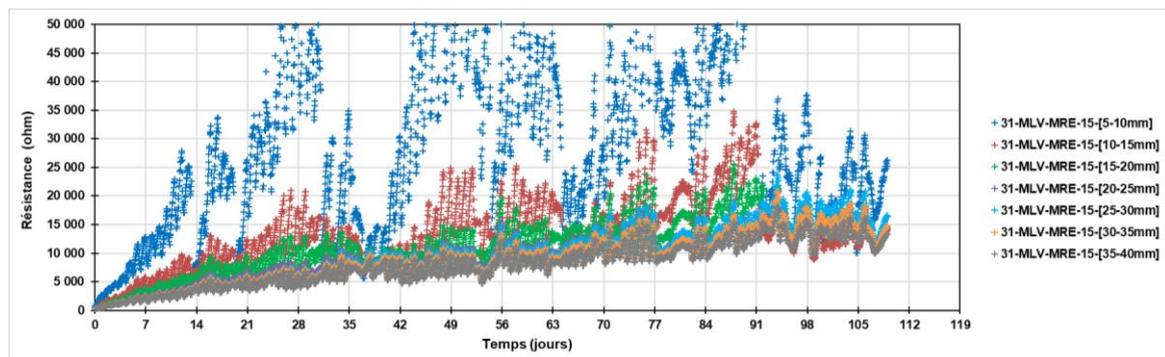


FIGURE 4. Suivi en continu de la résistance du béton à différentes profondeurs dans le mur instrumenté fabriqué avec la composition 31 exposé à Epernon sur une centaine de jours après le coulage.

IV. CONCLUSIONS

Le programme sur corps d'épreuve conservés en conditions naturelles lancé au terme du PN PERFDUB est prometteur puisque après 2 ans beaucoup de résultats ont déjà été accumulés. A n'en pas douter, ce programme sera riche en données visant à faire le lien entre les propriétés du béton d'enrobage et la corrosion des armatures, selon les environnements et l'âge du corps d'épreuve, pour la communauté scientifique et les maitres d'ouvrages.

REFERENCES

Rozière, E., Loukili, A., Cussigh, F. (2009). A performance-based approach for durability of concrete exposed to carbonation. *Construction and Building Materials*, 23(1), 190-199.

Bouteiller, V., Adelaïde, L., Marie-Victoire, E., Bouichou, M., Thauvin, B., Villain, G. Non Destructive Testing and Corrosion Health Monitoring of reinforced concrete slabs submitted to chloride ions diffusion during five years, Proceedings of the fib CACRCS DAYS 2021, Capacity Assessment of Corroded Reinforced Concrete Structures, on-line event 30th November - 3rd December, 2021, Edited by: Beatrice Belletti, Dario Coronelli