

Etude de l'influence de la carbonatation sur la qualité du béton armé

**Pr. TANANE OMAR¹, Mr. BENNANI ZOUHEIR², Pr. ABOUD YOUNES¹
Pr. EL BOUARI ABDESLAM¹**

¹Laboratoire Physico-chimie des Matériaux faculté des sciences Ben M'Sik Université Hassan II Casablanca

²Directeur Général du Bureau d'études ETS CONSULT

Adresse 38 Avenue Hassan I CASABLANCA

Tel : 05 22 22 92 12 - Fax : 05 22 22 92 11

Corresponding author Email: o.tananet@gmail.com

Résumé-

L'objectif de ce travail est d'étudier l'influence de la carbonatation du béton par la pénétration de gaz carbonique, sur la qualité et les propriétés des éléments des structures en béton armé.

Nous avons tout d'abord effectué une étude bibliographique centrée sur le béton armé et la corrosion de l'acier, les techniques et les méthodes non destructives utilisées pour évaluer la qualité du béton et des armatures.

L'étude bibliographique a montré que la carbonatation du béton est la cause majeure de la corrosion des armatures dans le béton et par conséquent la dégradation des ouvrages en béton armé et précontraint, surtout lorsque ces ouvrages sont exposés à un milieu marin.

Elle a signalé aussi que la carbonatation du béton joue un rôle très important dans la diminution de la porosité du béton grâce à la formation des carbonates de calcium, le produit de la réaction entre les CO₂ et la portlandite.

Le but premier de ce travail était de vérifier la qualité du béton armé d'un bâtiment dégradé et fortement carbonaté par rapport à un bâtiment sain, pour cela plusieurs essais ont été effectués in-situ et ex-situ, afin d'évaluer la qualité des éléments en béton armé des deux bâtiments objets de l'étude, le bâtiment 1 est un bâtiment sain situé dans un milieu sec et un environnement non concentré en CO₂, le bâtiment 2 est un bâtiment industriel (environnement concentré en CO₂) situé dans un endroit proche de la mer (taux d'humidité élevé).

INTRODUCTION

L'invention du béton armé est généralement attribuée à Joseph Lambot,

qui, en 1848, fit flotter une barque en ciment armé, et à Joseph Monier, qui construisit indépendamment, grâce à ce matériau, des bacs à fleurs en 1849. L'emploi du béton armé dans les structures s'étend dès lors rapidement en France sous l'impulsion de Joseph Monier, mais aussi de Coignet, de François Hennebique et d'Armand Gabriel Considère. Dès 1906, une circulaire ministérielle fixe des Instructions relatives à l'emploi du béton armé, codifiant ainsi pour la première fois la conception et le calcul des ponts et des bâtiments avec ce matériau [1]

LES BETONS Plus de quatre milliards de mètres cubes de béton sont coulés chaque année dans le monde. Ce matériau permet de construire des ouvrages de toute nature et, notamment, des bâtiments, des immeubles d'habitation, des ponts, des routes, des tunnels, des barrages, des centrales thermiques et nucléaires ainsi que des plates-formes d'exploitation pétrolière off shore.

Le développement de l'emploi d'un matériau de construction repose sur des critères techniques et économiques. La résistance mécanique et la durabilité du matériau fondent les principaux critères de choix techniques. La disponibilité et le faible coût des matières premières, la facilité d'emploi et le prix de revient du matériau valident les conditions économiques.

Revue de l'Entrepreneuriat et de l'Innovation

Le béton répond parfaitement à ces conditions de choix :

- Il est fabriqué à partir de matières premières naturelles largement répandues à la surface de la terre ;
- Sa mise en œuvre est aisée et ne nécessite que l'emploi d'une main-d'œuvre rapidement formée ;
- Il autorise les plus grandes audaces architecturales et techniques, puisque, mis en place à l'état fluide, il épouse les formes de moules ou de coffrages les plus complexes ;
- Sa résistance mécanique dépasse aujourd'hui largement celle des meilleures roches naturelles ;
- Sa durabilité est plus que séculaire dès lors qu'il est correctement formulé et mis-en Œuvre ;
- Il s'accommode des environnements corrosifs et résiste bien, en particulier, aux actions agressives de l'eau de mer ; il offre une bonne tenue au feu, garantie de sécurité vis-à-vis des incendies ;
- Son prix de revient, enfin, fait du béton le matériau de construction par excellence.

Le béton est probablement le plus ancien matériau composite. Il est fabriqué à partir d'un mélange intime de ciment, de granulats, de fines et d'ultrafines, d'adjuvants et d'eau. Ces constituants sont dosés, en fonction de leurs propriétés propres, de manière à obtenir, après réaction physico-chimique entre eux, un produit solide dont les caractéristiques physiques et mécaniques peuvent être très supérieures à celles des roches les plus résistantes. Dans la mesure où le ciment est un liant hydraulique lui-même fabriqué avec des minéraux naturels, le béton peut être considéré comme une roche artificielle. [2].

Le terme « béton » recèle une ambiguïté. Le matériau doit en effet être considéré sous deux formes :

- Le béton frais, mélange homogène de matières premières solides en suspension dans l'eau : c'est l'état dans lequel il se trouve lors de sa fabrication. Il se trouve en état foisonné dans et à la sortie des appareils assurant l'obtention d'un mélange homogène, et en état compacté dans son coffrage, après mise en place et damage, serrage ou vibration ;
- Le béton durci, solide dont les propriétés physiques et mécaniques s'acquièrent au cours des réactions Physico-chimiques qui se déroulent entre ses composants à vitesse relativement rapide au début, puis à vitesse fortement décroissante avec le temps.

Le béton est un matériau composite ; ses propriétés dépendent de la nature et de la qualité de ses composants mais aussi de leurs proportions relatives. S'agissant des propriétés, il convient de distinguer celles qui concernent le béton frais et le béton durci.

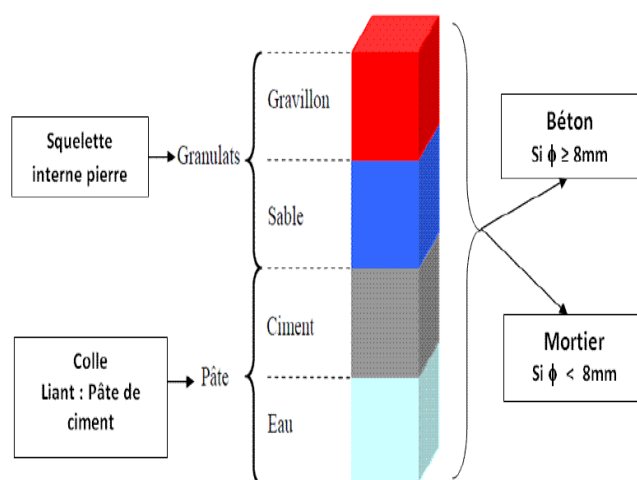
A titre d'exemple, la composition pondérale d'un béton courant, c'est-à-dire le poids des différents composants permettant de fabriquer 1 m³ de béton durci, est la suivante :

- Granulats, 1 800 kg ;
- Ciment, 350 kg ;
- Eau, 180 kg ; à quoi s'ajoutent éventuellement quelques 10 à 20 kg d'adjuvants.

Quel que soit le béton, il est fabriqué avec du ciment, des granulats, de l'eau, des

Revue de l'Entrepreneuriat et de l'Innovation

adjuvants. Les granulats peuvent inclure des fillers et, éventuellement, des ultrafines.



et des poutres en béton armé avec des dalles pleines de type béton armé et l'âge du béton est presque le même pour les deux bâtiments.

Des auscultations sur chantier et des essais au laboratoire ont été effectués afin de mesurer :

- La carbonatation et la profondeur de pénétration des CO₂.
- La résistance à la compression,
- L'homogénéité du béton,
- L'état d'avancement de corrosion des armatures des éléments de la structure.

Figure 5 : Les principaux composants du béton

Quel que soit le béton, il est fabriqué avec du ciment, des granulats, de l'eau, des adjuvants. Les granulats peuvent inclure des fillers et, éventuellement, des ultrafines.

Les paramètres expérimentaux choisis pour évaluer par des essais et des méthodes de contrôle non destructif la qualité du béton et l'état des armatures des éléments de la structure de deux bâtiments différents:

- ❖ Bâtiment 1 : Situé dans un environnement sec (taux d'humidité de l'ordre de 38%), le bâtiment est en bon état et le béton des éléments de la structure n'est pas dégradé.
- ❖ Bâtiment 2 : bâtiment industriel situé dans un endroit proche de la mer (taux d'humidité environ 75%), le béton de la

La plus part des éléments de la structure est dégradé avec apparition des fissures et traces de la rouille de corrosion.

La structure porteuse des planchers des deux bâtiments est assurée par des poteaux

Les tests de vérification de la carbonatation du béton par phénolphthaleïne des éléments de la structure ont montré une faible carbonatation du béton avec des profondeurs de pénétration du gaz carbonique ne dépassant pas les 2 cm par rapport à la surface de l'élément testé.

Evaluation de la résistance à la compression et l'homogénéité du béton, et mesure des potentiels de corrosion des armatures :

La résistance et l'homogénéité du béton des éléments de structure du bâtiment 1 ont été évaluées par des auscultations sclerométriques et dynamiques d'un échantillonnage des éléments de la structure Porteuse sur chantier et au laboratoire.

Les potentiels de corrosion des armatures ont été enregistrés sur chantier par auscultation d'une poutre au Rez de chaussée.

Résultats et interprétations.

La résistance moyenne à la compression du béton de l'échantillonnage des éléments testés est de 28,6 MPa, valeur supérieure à celle exigée par les normes (25MPa), le béton des éléments auscultés est de qualité acceptable.

Le coefficient de variation moyen des vitesses ultrasoniques évaluées par

auscultation dynamique de l'échantillonnage des poteaux testés varie entre 2 et 4 % conférant ainsi aux éléments de structure testés une homogénéité dans la masse du béton,

La moyenne des mesures de potentiel de corrosion des armatures est de -132 mV reflétant une amorce de corrosion.

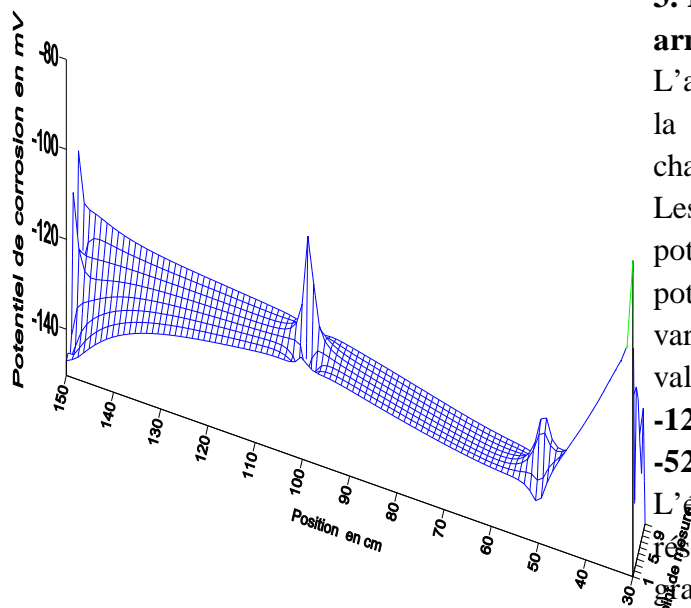


Figure 2: Présentation graphique 3D des résultats de mesure des potentiels de corrosion des armatures Bâtiment -1-

I. Evaluation de la qualité des éléments BA du bâtiment 2 :

1. Mesure de la carbonatation du béton et profondeur de pénétration du CO_2 :

A travers les tests de coloration réalisés sur différentes carottes de béton prélevées, On constate que le béton est carbonaté sur une épaisseur de **3 à 4cm** par rapport à la surface de l'élément testé (**voir annexe H**).

2. Evaluation de la résistance à la compression et l'homogénéité du béton :

L'évaluation de la résistance mécanique et homogénéité du béton des éléments du bâtiment 2 a intéressé un échantillonnage des poteaux et dalles en béton armé.

Résultats et interprétations :

La résistance moyenne à la compression du béton de l'échantillonnage des éléments testés est de **25.13MPa**, valeur acceptable vis-à-vis des normes, avec des coefficients de variation de vitesse compris entre **6 et 7 %** conférant ainsi aux éléments testés une hétérogénéité dans la masse du béton testé.

3. Mesure des potentiels de corrosion des armatures dans le béton :

L'auscultation Potentiometrique a intéressé la sous face du plancher haut du Rez de chaussée du bâtiment 2.

Les résultats d'auscultation potentiometrique montrent que les potentiels de corrosion des planchers sont variables suivant les zones testées, les valeurs enregistrées sont comprises entre **-125mV** et **-980mV** avec une moyenne de **-520mV**.

L'état de corrosion des armatures selon les résultats obtenus et la présentation graphique (**voir figure : 15**) est intense, le matériau acier a perdu ses caractéristiques mécaniques et sa résistance ce qui favorise l'éclatement et la chute du béton d'enrobage. Les résultats des auscultations effectuées au bâtiment 2, sont regroupés sous forme des tableaux dans.

L'étude comparative des résultats des essais effectués sur les éléments de la structure des deux bâtiments consiste à représenter les valeurs obtenues sous forme des histogrammes pour chaque propriété examinée, à savoir la profondeur de carbonatation, les potentiels de corrosion et la résistance à la compression du béton des deux bâtiments objets de cette étude.

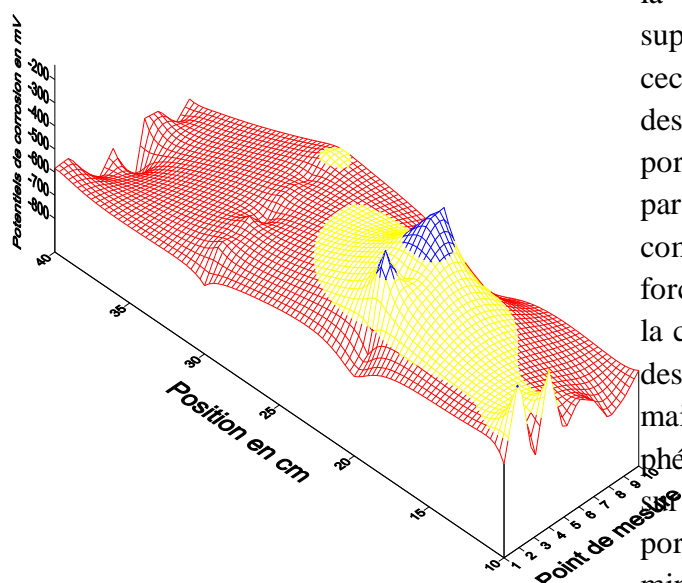


Figure 3: Présentation graphique 3D des résultats de mesure des potentiels de corrosion des armatures Bâtiment -2-

Conclusion

D'après cette étude comparative des résultats d'évaluation de la qualité du béton armé des deux bâtiments étudiés dans ce travail, on a constaté que le béton du bâtiment 2 (bâtiment industriel dégradé) est fortement carbonaté sur une profondeur de l'ordre de 4cm par rapport à la surface extérieure des éléments testés, par contre la profondeur de carbonatation ne dépasse pas les 2cm pour les éléments auscultés du bâtiment 1.

Les armatures du bâtiment 2 ont perdu leurs caractéristiques mécaniques à cause d'une corrosion très avancée d'un potentiel moyen de corrosion d'environ -520mV, valeur très inférieure à celle enregistrée au bâtiment 1 (-132mV).

Malgré la forte carbonatation du béton du bâtiment industriel, sa résistance moyenne à

la compression (25,13 MPa) reste supérieure à la valeur exigée par la norme, ceci est dû principalement à la formation des carbonates de calcium qui bouchent les pores du béton en augmentant sa densité, est par conséquent sa structure devienne plus compacte, moins poreuse et résiste bien aux forces de compression.

la carbonatation a un effet négatif sur l'état des armatures et l'homogénéité du béton, mais l'étude montre aussi que ce phénomène influence d'une façon favorable sur la résistance du béton en diminuant la porosité de ce dernier, cette diminution minimise la perméabilité du béton aux gaz et agents corrosifs surtout les chlorures.

L'étude montre aussi que l'auscultation sclerométrique est une méthode insuffisante pour juger la qualité du béton armé, l'auscultation dynamique reste la technique la plus efficace pour confirmer la fiabilité des résultats des résultats sclerométriques.

Références.

- Y.T. Yu, M.F. Lau, "A comparison of MC/DC, MUMCUT and several other coverage criteria for logical decisions", Journal of Systems and Software, 2005, in press.
- Adam M. Neville, Propriétés des bétons, traduit par le CRIB, Edition Eyrolles, Paris, (2000).
- M. Pourbaix, "Atlas d'équilibres électrochimiques à 25°C", Edit. Gauthiers- Villars, Paris, 1963.
- Shamsad Ahmad, "Reinforcement corrosion in concrete structures, its monitoring and service life prediction— a review", Cement and Concrete Composites, Volume 25, May-July 2003, pp 459-471.
- R.G. Patel, L.J. Parrot and D.C.Killoh, "Gradients of microstructure and diffusion Properties in cement pastes caused by drying", Cement and Concrete Research, 15, 1985, pp 343-356.
- V.T. Ngala, C.L.Page, "Effects of carbonation on pore structures and diffusional properties of hydrated cement pastes", Cement and Concrete Research, 27, 1997, pp 995-1007