
Corrosion des armatures : méthodologies de suivi de la durée de vie des ouvrages en béton arme

Chérifi W.¹, Houmadi Y.², Benali O.³

¹ Laboratoire des structures intelligentes, centre universitaire de Ain Temouchent – Algérie, cherifi.wafa@outlook.fr

² Laboratoire des structures intelligentes, centre universitaire de Ain Temouchent – Algérie, houmadiyoucef@yahoo.fr

³ Département de Biologie, Faculté des sciences, Université de Saida – Algérie, benaliomar@hotmail.com

RÉSUMÉ. La durabilité des structures en béton armé est devenue une préoccupation majeure pour toutes étapes de construction : la conception, la réalisation et la maintenance de ces ouvrages. La durée de vie est en grande partie liée à la durabilité du matériau mis en œuvre, d'où le béton est estimé plus durable s'il résiste à la pénétration d'agents agressifs. Contrairement aux actions mécaniques, les actions environnementales ne sont pas réversibles et accumulent des composants dangereux dans le béton comme les ions chlorures. La mauvaise estimation de la gravité des actions environnementales cause un pourcentage élevé de dommages à des structures en béton armé. Ces dernières auront besoin d'être réparé après une courte durée de vie. Aujourd'hui, la restauration et la réparation des structures en béton armé est presque aussi importante que de nouvelles constructions. La corrosion des armatures est l'un des principaux phénomènes déterminants pour la durée de vie de la structure. A cet effet, les résultats des travaux expérimentaux présentés dans cet article sont le fruit d'un travail qui est à mi-parcours. Il s'agit d'essais de laboratoire effectués essentiellement sur des bétons ordinaires à l'état durci ou plusieurs bancs d'essais ont été mis au point en vue d'évaluer le risque de corrosion à l'aide d'essais non destructifs « appareil CANIN+ ». Les résultats obtenus à l'aide de ces mesures révèlent une diminution du potentiel de corrosion pour les éprouvettes confectionnées en béton armé dans un milieu agressif (contenant 3% NaCl) par rapport au milieu de référence. Le déroulement des essais dans les différents milieux confirme l'agressivité de l'environnement sur les structures et l'intérêt de l'enrobage.

ABSTRACT. The durability of reinforced concrete structures has become a major concern for all steps of construction: the design, construction and maintenance of these structures. The lifetime is largely related to the durability of the material used, hence the concrete is considered more durable if it resists the penetration of aggressive agents. Unlike mechanical actions, environmental actions are not reversible and accumulate hazardous components in concrete such as chloride ions. The poor estimate of the severity of environmental actions causes a high percentage of damage to reinforced concrete structures. These last will need to be repaired after a short life. Today, restoration and repair of reinforced concrete structures is almost as important as new constructions. Corrosion of steel is one of the main determinants of the lifetime of the structure. To this effect, the results of experimental work presented in this paper are the result of work that is at the half way. These are laboratory tests carried out mainly on ordinary concretes in the hardened state or several test benches have been developed to assess the corrosion risk using non-destructive testing " CANIN + device ". The results obtained using these measurements reveal a reduction in the corrosion potential for reinforced concrete test specimens in an aggressive environment (containing 3% NaCl) with respect to the reference environment. The tests conducted in the various environments confirm the aggressiveness of this on the structures and the interest of coating.

MOTS-CLÉS : Durabilité, corrosion, potentiel, béton armé, CANIN +.

KEY WORDS: durability, corrosion, potential, reinforced concrete, CANIN +.

1. Introduction

En règle générale, le béton armé donne de bons résultats en termes de performance structurelle et de durabilité. Pour la plupart des ouvrages en béton armé, la corrosion des armatures est l'un des principaux phénomènes décisifs pour la durée de vie de la structure. La pénétration des agents agressifs est la cause physico-chimique la plus importante qui réduit la durée de service des ouvrages en béton armé par la corrosion des armatures. Il existe divers structures en béton armé important pour notre infrastructure, en particuliers les ponts et les bâtiments qui présentent une usure prématurée due à des actions environnementales (NF EN 206). Ces actions sont irréversibles accumulent des agents dangereux dans le béton (ion chlorure). Ils provoquent des éclatements de béton et l'apparition de fissures dus principalement à la corrosion de l'acier.

La dégradation des ouvrages en béton armé constitue un problème majeur du point de vue économique et engendre d'importantes charges en termes d'entretien et de réhabilitation. En raison de l'importance de ce problème, de nouveaux textes (**Eurocode 2 et NF EN 206**) ont pris en compte l'importance de la durabilité du béton sur la définition des classes structurales [**GHO 11**]. De plus, plusieurs progrès ont été réalisés tant sur les agents permettant de retarder ou d'inhiber la corrosion, que sur le développement d'appareils capables de relever une information :

- Sur le progrès des agents agressifs ;
- Sur les conséquences de la corrosion des armatures sur l'intégrité du béton armé.

Etant donné l'impact de la corrosion des armatures sur l'économie des pays, plusieurs chercheurs se sont appliqués à créer et développer des méthodes non destructives nécessaires pour appréhender les pathologies des structures et dresser un bilan général de leur état. Devant pareilles situations, la stratégie a abordé afin de prévenir et de lutter contre la dégradation causée par la corrosion reste encore l'utilisation CANIN+ qui facilite le travail d'investigation des ingénieurs. Cela va permettre de préserver et d'évaluer la longévité des structures.

L'objectif principal de cette contribution est de mettre en exergue l'importance de la prise en compte des méthodes non destructives dans la prévention et la lutte contre les dégradations des structures en béton armé provoquées par les ions de chlorures. Dans cette perspective, nous avons réalisé un programme expérimental, sur un béton armé afin d'évaluer son potentiel de corrosion dans le temps.

2. Programme expérimental

2.1. Préparation des éprouvettes

Les barres d'armatures utilisées de diamètre 10 mm, ont été brossées à l'aide d'une brosse métallique et nettoyées avec de l'acide sulfurique 10%. La préparation des barres avait pour but d'uniformiser les surfaces et d'éliminer la couche passive formé à la surface de l'acier.

Deux catégories d'échantillons cylindriques de béton et mortier SIKATOP® SF 126 ont été préparés :

- Catégorie 1 : de diamètre 60 mm dans lesquels des armatures sont positionnées à un enrobage de 25mm, simulant un environnement courant recommander par la norme NF EN206-1 (enrobage $e = 1,5$ à 3 cm) ;
- Catégorie 2 : de diamètre 110 mm avec armatures positionnées à un enrobage de 50 mm pour simuler les conditions les plus défavorables vis-à-vis de la pénétration des agents agressifs, d'où la norme NF EN206-1 recommande un enrobage $e > 40$ mm (figure 1).

Ensuite, les échantillons ont été démoulés et immergés dans un bassin d'eau thermostaté à 20° C, pour une cure de 28 jours. Après la cure, les corps d'épreuve sont immergés partiellement dans 3 différents milieux :

- Milieu 1 : une solution de référence contenant la portlandite $\text{Ca}(\text{OH})_2$ pour assurer les même conditions environnementales d'une structure en béton armé (S1) ;
- Milieu 2 : une solution additionnée de chlorures (S1+30 g/l NaCl, représentant la concentration en sel de la mer méditerranée) ;
- Milieu 3 : l'ajout d'un inhibiteur au troisième milieu (S1+3%NaCl+inhibiteur de type SIKA FERROCARD 903).

Afin de maintenir les conditions aux limites constantes, les solutions dans le banc d'essai sont renouvelées régulièrement.

La figure 1 montre la géométrie des éprouvettes, soumises aux tests de mesure du potentiel de corrosion à l'aide de l'appareil CANIN+. L'armature simple est enfoncée à une profondeur de 12,5cm. L'enrobage est maintenu au fond de l'éprouvette, en contact avec la solution saline, afin d'éviter d'éventuelles risques de corrosion [SAI 13]. Les armatures sont placées directement dans les éprouvettes pour simuler un état réel d'une structure en béton armé exposé à un milieu agressif

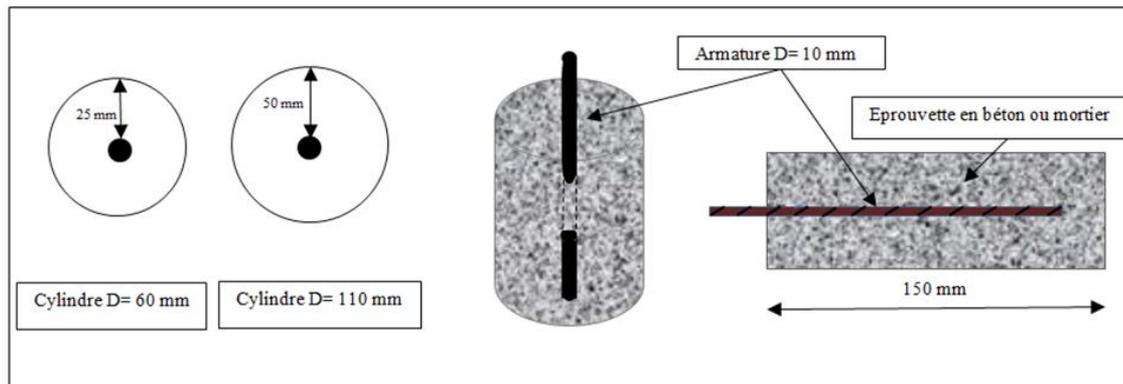


Figure 1. Schéma géométrique des éprouvettes.

2.2. Mesure du potentiel

Afin d'obtenir une image caractéristique de l'état de corrosion de la surface métallique dans le béton ou mortier, une mesure se fait à la surface de ces derniers par l'appareil CANIN+. A cette fin, l'électrode de référence est une demi-cellule de Cu/CuSO₄. Elle est composée d'une tige de cuivre immergée dans une solution de sulfate de cuivre saturé. Cette électrode est connectée via un voltmètre de haute impédance (R=10MΩ) à l'armature (figure 2). Il s'agit de mesurer la différence de potentiel entre l'armature dans le béton ou mortier et une électrode de référence placée sur le parement de ces derniers.

Les valeurs des potentiels mesurés sont comparées aux valeurs citées dans la norme ASTM C-876-91 (ré-approuvé en 1999) qui délimitent les probabilités de corrosion. Pour le cas d'une électrode de référence Cu/CuSO₄ les valeurs à comparer sont citées dans le tableau 1. Ainsi ça nous permet d'estimer le degré d'enrouillement des aciers dans du béton.

Tableau 1. Les valeurs de potentiel citées dans la norme ASTM C-876-91 [AST, 99].

Valeur du potentiel	Activité de corrosion
$E_p \geq -200 \text{ mV}$	Inferieur de 10% de probabilité de corrosion
$-350 \text{ mV} \leq E_p < -200 \text{ mV}$	50% de probabilité de corrosion
$E_p < -350 \text{ mV}$	Entre 50 et 90% de probabilité de corrosion

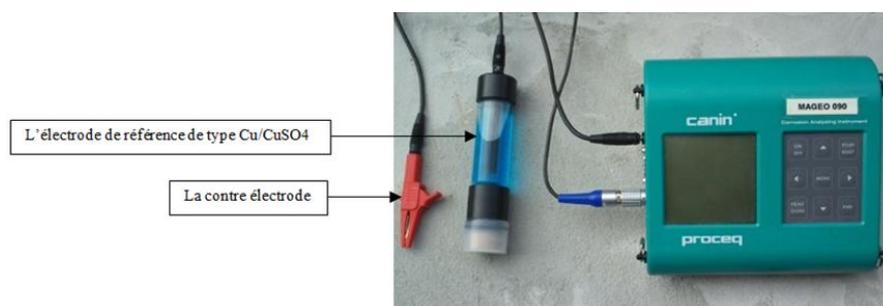


Figure 2. L'appareil CANIN+.

3. Résultats et discussion

La figure 3 montre que tous les systèmes obtenus pour les cas traités, donnent un potentiel inférieur au potentiel du milieu 1 (milieu témoin). Lorsque les aciers sont noyés dans le béton frais, une couche d'oxyde se forme suite au contact du béton à l'armature. La solution alcaline des pores du béton produit une oxydation rapide en surface de l'acier pour former un film passif [SAI 13], ce qui s'est passé pour les éprouvettes en milieu 1. Ce phénomène de passivation, n'arrête pas la réaction de corrosion, mais la limite à quelques microns par année [ROS 89]. Cependant, la présence des ions chlorures au pourtour des armatures (cas milieu 2 et 3) compromet la stabilité du film passif et accélère la réaction de corrosion. D'où le potentiel fluctue dans un intervalle de -600mV à -350 mV. D'après le tableau 1, nous pouvons dire qu'il y a une probabilité de 50 à 90% de corrosion. Ces valeurs nous renseignent que nos armatures sont corrodés.

Nous remarquons aussi que toutes mesures de potentiel faites pour un enrobage de 5 cm varient de -500 à -300 mV contrairement à l'enrobage de 2,5 cm, cette dernière tend vers -600 mV. A cet effet, nous constatons l'importance de l'enrobage dans les milieux agressifs prouvant ainsi que plus l'enrobage est important plus la diffusion des ions chlorures est moindre. Les résultats obtenus sont conformes à ceux trouvés dans la littérature [EN 206 ET SAI 13]. Aussi nous remarquons une augmentation du potentiel de -600 à -400 mV qui peut être justifiée par la présence d'inhibiteur dans le milieu 3 ou le mortier SIKATOP. Ces conclusions nous amènent à considérer l'importance d'utilisation d'inhibiteur pour la protection de nos structures en béton armé.

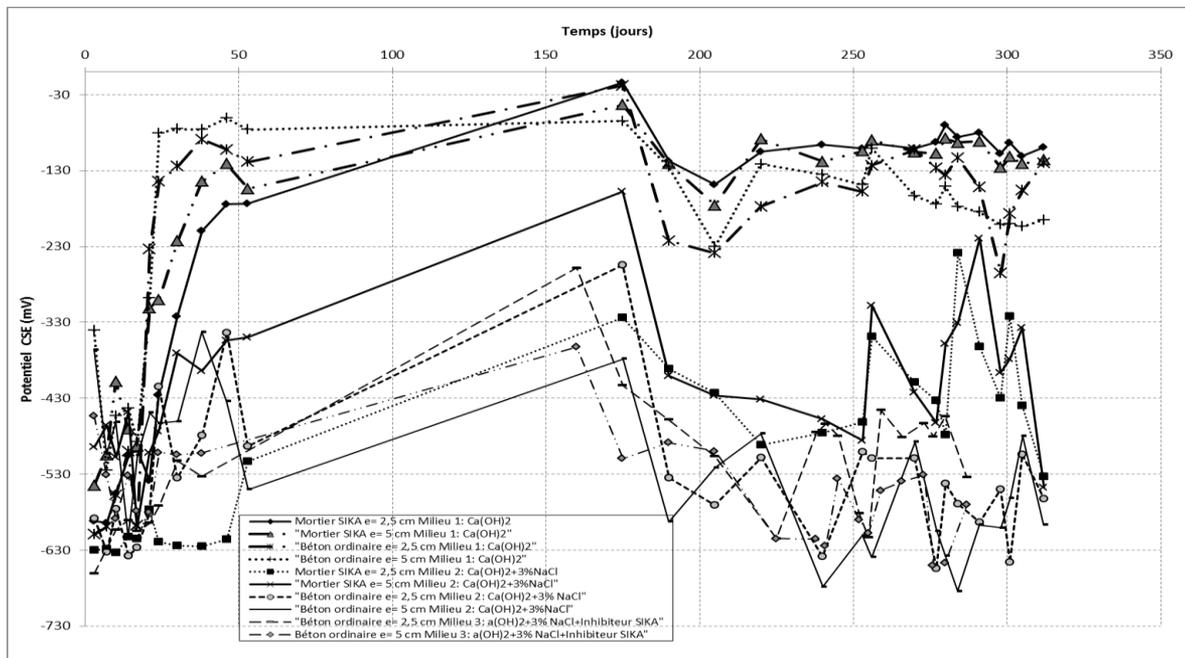


Figure 3. Mesure du potentiel en fonction du temps pour un béton ordinaire et un mortier SIKATOP dans 3 différents milieux : le milieu 1 (CaOH₂), milieu 2 (CaOH₂ et 3% NaCl) et milieu 3 (CaOH₂, 3% NaCl et inhibiteur de type SIKA FERROCARD 903).

4. Bibliographie

[AST 99] ASTM C 876, Standard Test Method for Half-Cell potentials of uncoated Reinforcing steel in concrete, Norme ASTM, 1991, réapprouvés en 1999.

[GHO 11] Ghomari F. Maladies des ouvrages en béton armé, Etude expérimentale, 8^{ème} séminaire Technique de Lafarge, 13-14 décembre 2011, Alger. Pp. 178-190.

[ROS 89] Rosenberg A., Hansson C.M., Andrade C., Mechanism of corrosion of steel in concrete, Materials Science of Concrete, American Ceramic Society, 1 (1989), 285-314.

[SAI 13] Sail L. Etude de la performance d'inhibiteurs de corrosion à base de phosphate pour les constructions en béton armé, Thèse de Doctorat, Université de Tlemcen, Algérie, Soutenue en 2013.