

REPARATION DES STRUCTURES EN BETON ARME

S. BOUKAIS¹, M. HAMIZI², N.E. HANNACHI³,

1. Maître assistant – chargé de cours, Université Mouloud Mammeri, Laboratoire LaMoMs, Département de Génie Civil, BP 17 15000 Algérie sbouka58@yahoo.fr

2. Docteur, Université Mouloud Mammeri, Laboratoire LaMoMs, Département de Génie Civil, BP 17 15000 Algérie chamizi@yahoo.fr

3. Professeur, Université Mouloud Mammeri, Laboratoire LaMoMs, Département de Génie Civil, BP 17 15000 Algérie hannachina@yahoo.fr

RÉSUMÉ

Durant leur existence, les structures en béton armé sont exposées à des chargements mécaniques et autres agressions chimiques et effets thermiques, engendrant la dégradation de leurs propriétés mécaniques. Généralement une intervention rapide de réparation est nécessaire pour compenser cette perte de sécurité. Bien que la maintenance et la réparation des structures en béton armé soient devenues une part très importante de l'industrie du béton, la question reste toujours posée de savoir comment restaurer, réhabiliter et protéger ce patrimoine pour prolonger sa durée de vie.

Le but de cette étude concerne la discussion des solutions possibles et envisageables, et des moyens de mise en œuvre pour la réhabilitation des structures endommagées en béton armé. Une large revue des différentes méthodes de réparation est exposée. L'influence des charges aussi bien que celle d'un environnement agressif ont été abordées, soulignant l'approche du problème pour chaque cas distinctivement.

Mots clés : Réparation, réhabilitation, structures, environnement, séisme, béton armé.

1 - INTRODUCTION

Ces dernières décennies le béton est devenu le principal matériau pour les structures de plus en plus complexes. L'intérêt porté pour le béton est d'autant plus grand que son utilisation a conduit à un nombre important de structures montrant des signes de faiblesse comparativement à une durée de vie assez courte.

Les principales causes des sinistres sont les effets accidentels (séisme), qui peuvent engendrer d'important dommages et même la ruine des constructions d'une part, et le phénomène de corrosion [1,2] provoqué par la formation excessive de rouille au niveau des armatures d'autre part. Selon Haynes [3] la rouille peut occuper un volume égal à trois fois celui des aciers adoptés.

La réparation consiste à la restauration des caractéristiques initiales des éléments de la structure, alors que, l'opération de renforcement permet d'améliorer leur résistance vis-à-vis de charges supérieures à celles pour lesquelles l'ouvrage à été conçu initialement.

Il ya lieu donc de définir les techniques de réhabilitation spécifiques à chaque structure endommagée.

2 – DEMARCHE A SUIVRE

D'une façon générale l'adoption d'une solution finale peut s'appuyer sur les critères suivants :

2.1- Diagnostic

C'est une expertise ayant pour but de déterminer la nature des désordres et leur étendue. Elle permet en outre de statuer si le problème est local ou généralisé.

2.2- Exigences techniques

Précision sur le choix de la technique de réhabilitation de la structure :

- La réparation et maintenance, pour une simple remise en l'état de la structure.
- Le renforcement et confortement, pour une modification de la structure (rigidifier les éléments, rajout d'éléments de contreventement...).

2.3 - Etude économique

Elle permet de statuer définitivement sur la solution à adopter (réparation, renforcement, démolition...). Cette étude comparative sur le meilleur profit du coût-efficacité est élaborée pour des solutions à moyen et long terme.

3 - ORIGINE DES DESORDRES

Le constat observé sur les 50 dernières années, montre que :

- Une grande partie du patrimoine immobilier algérien est vétuste et soumis à des actions directes (température, gel-dégel, carbonatation, séisme...).
 - La « jeune » réglementation parasismique Algérienne est encore en chantier. Elle évolue constamment (PS69, RPA81, RPA83, RPA88, RPA99, RPA2003) pour tenir compte des incompatibilités ou des incohérences constatées par rapport aux nouvelles données enregistrées durant cette période.
- Sommairement, on peut classer l'origine des désordres comme suit :
- Mauvaise qualité du matériau (béton armé) et sa mise en œuvre.
 - Fatigue et vieillissement des matériaux.
 - Défauts de réalisation.
 - Mauvaise conception des ouvrages.
 - Dégradation d'origine physico-chimique.

4 - REPARATION DES ELEMENTS ENDOMMAGES

4.1 – Sous l'influence des charges

4.1.1- Introduction

Les structures en béton armé présentent souvent des fissures dues à un chargement accidentel, surcharge statique, retrait, fluage ou aux gradients thermiques. Des fissures mineures de largeur inférieure à environ 0,2 millimètre, peuvent être tolérées, selon l'état d'exposition, mais les fissures principales sont esthétiquement désagréables et affectent la longévité de la structure. En outre, certains éléments de structures exhibent des signes d'éclatement de béton, d'effondrement et même d'écrasement local du béton. Dans ces cas des mesures urgentes de réparation devraient être prises pour empêcher une dégradation plus conséquente qui condamnerait la structure entière.

L'utilisation des résines époxydes dans la réparation et la réhabilitation

des structures en béton armé dans leur usage de service a subi un développement assez important. La technique habituelle de réparation consiste à colmater les fissures par l'injection époxyde; le béton faible est enlevé et la structure est alors rebourrée par du béton frais. Quelque fois des armatures d'adhérence sont ajoutées pour consolider les parties réparées. Bien que de nombreuses structures aient été réparées de cette manière pendant la dernière décennie (en Algérie), l'absence de données statistiques ne permet pas de conclure si la structure réparée est aussi résistante (taux de restauration des caractéristiques initiales).

4.1.2- Traitement et méthodes de réparation

Un élément choisi pour être réparé - au lieu d'être réparé et renforcé - Si ses dommages sont jugés légers ou modérés (voir Fig.1).

Un élément présentant des dommages sévères ou graves (voir Fig.2), comme la désintégration significative du noyau de béton, et/ou le flambement ou la rupture des barres d'acier, ne peut être reconstitué efficacement à sa résistance initiale et à sa capacité de déformation avec des moyens simples de réparation et en toute probabilité il sera renforcé (chemisage).



Fig. 1 - Cas de réparation



Fig.2 - Cas de renforcement

Généralement la réparation consiste en une ou plusieurs des techniques suivantes:

- Injection des fissures (avec époxyde ou mortier)
- Remplacement du béton « lâche » ou « éclaté »
- Remplacement des armatures.

Ces mesures s'appliquent également dans le cas de renforcement des éléments en béton armé par chemisage ou autres techniques, la seule différence notable, étant que, dans ces cas là, les fissures fines (de l'ordre de 0,3 millimètres) n'ont pas besoin d'être injectées et que le béton détérioré peut être remplacé avec du béton projeté. Il est à noter que le doute subsiste encore quant au control et à l'efficacité de ces techniques, spécialement pour les structures en béton armé. Dans le cas de l'injection de résine époxyde, il est

indispensable d'assurer la pénétration de la résine dans des fissures de configurations complexes. Le niveau de restauration de la rigidité dépend du degré de pénétration de la résine.

Afin d'étudier le comportement et la résistance des poutres en béton armé comportant de grandes ouvertures, Mansur et Ong [4] ont testé neuf éléments de section rectangulaire, ayant une ouverture de dimension variables, sous une charge statique localisée. Six de ces éléments (R2, R3, R4, R5, R6, R7) sévèrement endommagés, ont été choisis pour étudier l'efficacité de la technique de réparation.

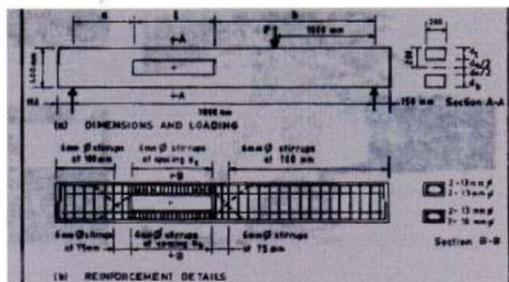


Fig. 1 - Details of test specimens.

Fig.3 - Conception des poutres type

Réf. poutres	Charge ultime P [KN]	Long. de l'ouverture [mm]	Hauteur de l'ouverture d ₀ [mm]	Distance de l'ouverture/ Extrémité gauche [mm]	Espacement (s ₁ ou s ₂) des cadres [mm]	Caract. du béton [MPa]
R2	162.0	600	180	700	40	30.4
R3	131.9	800	180	600	40	33.5
R4	106.5	1000	180	500	40	33.5
R5	89.4	1200	180	400	40	29.8
R6	164.4	800	140	600	50	29.8
R7	91.7	800	220	600	30	35.1

Tableau 1 - Détails des poutres type.

- Réparation des poutres endommagées

Les poutres testées à la rupture, présentent de nombreuses fissures avec écrasement du béton à chacun des quatre coins de l'ouverture. Les poutres ont subi des déformations irréversibles (Fig.4).



Fig.4 - Mode de rupture des poutres type

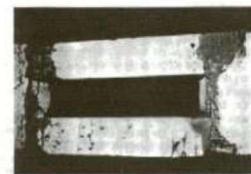


Fig.5 - Poutre type après nettoyage des parties endommagées

- Restauration de la forme et de l'aspect

La première étape dans la réparation de ces poutres endommagées était de reconstituer leur forme. Ceci a été fait en appliquant une charge inversée jusqu'à ce que ces éléments retrouvent approximativement

leur configuration d'origine. Les parties non-adhérentes du béton étaient enlevées soigneusement (Fig.5). Une brosse de fil d'acier a été employée pour déloger les particules lâches et le dépoussiérage a été effectué à l'aide d'un compresseur à air. La surface doit être saine, propre, et sèche, pour que l'injection des fissures puisse se faire (voir 5.1.c).

- Compilation des résultats

Tableau 2 - Comparaison des largeurs max. de fissure et des flèches maximales

Réf. poutres	Charge de service (calculée) [KN]	Largeur max. de fissure [mm]		Flèche maximale [mm]	
		Poutre originale	Poutre réparée	Poutre originale	Poutre réparée
R2	95.3	0.29	0.20	5.67	8.76
R3	88.6	0.43	0.19	6.33	8.61
R4	62.6	0.23	0.25	5.48	6.57
R5	52.6	0.23	0.20	6.87	9.17
R6	96.7	0.37	0.39	6.47	6.98
R7	53.9	0.33	0.24	5.70	6.94

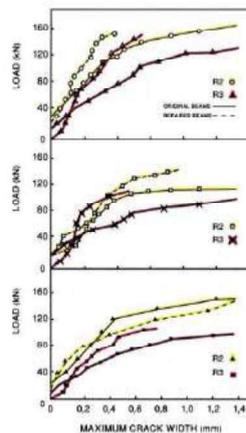


Fig.6 - Courbes charge-largeur max.

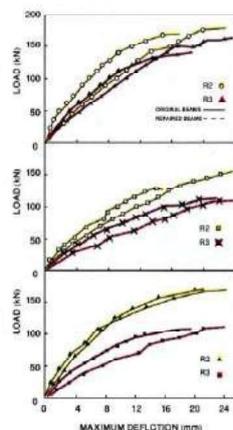


Fig.7 - Courbes charge-flèche max. de fissure

Conclusion

De cette recherche expérimentale, il est possible de tirer en premier abord, les conclusions suivantes:

1. Toutes les fissures qui ont été réparées par l'injection époxyde n'ont pas été réouvertes à la charge ultime. Les sections réparées sont devenues plus résistantes que les parties adjacentes.
2. Les largeurs maximales de fissure dans les poutres réparées sont, en général, inférieures à celles développées dans les poutres de référence en raison du développement tardif des fissures aux quatre coins critiques de l'ouverture. Le mortier époxyde a efficacement renforcé les régions de concentration de contraintes.
3. La présence de microfissures dans les poutres réparées est responsable de la réduction de la rigidité, illustrées par des flèches plus défavorables. Si la conception de la poutre est basée sur la rigidité, alors des armatures doivent être ajoutées, dans ces zones critiques, pour rigidifier l'élément.
4. Le même mécanisme de rupture a été observé dans les différentes poutres (poutres de référence et poutres réparées), consistant en la formation de quatre charnières, une à chaque coin de l'ouverture.
5. Les poutres réparées sont plus résistantes que les poutres de référence.

4.1.3 - Injection des fissures

C'est la méthode la plus répandue de réparation des fissures de taille moyenne dans les structures en béton armé. Les essais menés sur des époxydes de faible viscosité [5] ont confirmé la faisabilité de cette technique, particulièrement en ce qui concerne le rétablissement de la liaison.

L'injection des fissures est normalement considérée valable si la largeur de fente excède 0,2 à 0,3 millimètre. Des fissures de largeur 0.1mm (ou même moins) jusqu'à près de 2 ou 3 millimètres peuvent être injectées avec époxyde habituelle à faible viscosité. Des époxydes de viscosité moyenne sont employés pour une plus grande largeur de fente, jusqu'à 5 ou 6 millimètres. Dans le cas rare de plus grandes fissures, jusqu'à 20 millimètres de large, des mortiers de ciment sont les plus appropriés pour l'injection.

Il y a plusieurs variations sur la méthode d'application de ce système largement répandu. Le procédé atypique est illustré par la fig.8. Les fissures doivent être nettoyées proprement avant l'injection, c'est-à-dire, enlever toutes les parties non adhérentes par piquetage, brossage ou dépoussiérage. Dans le cas habituel de l'injection époxyde, la fente est entièrement scellée avec la pâte époxyde, laissant seulement des orifices aménagés en plastique pour l'injection. L'espacement des orifices le long de la fente devrait être de l'ordre de la distance qui peut être atteinte par l'époxyde avant de durcir (cette distance dépend de la largeur de la fente et de la viscosité de l'époxyde à la température ambiante). Dans le cas où la profondeur de la fissure dépasse cette distance, des orifices devront être aménagés sur les deux surfaces le long de la fente. Le processus comporte l'application de rubans adhésifs à travers les fissures aux endroits prévus des orifices d'injection, commençant par l'extrémité inférieure de la fissure (b). Une bande spéciale d'étanchéité est alors appliquée, recouvrant toute la fissure, le tout est laissé pour durcir (c). Les rubans sont ensuite enlevés, de ce fait exposant des parties de fissure où des becs d'injection sont insérés et scellés (d). Ensuite, un mélange d'époxyde est injecté. L'injection devrait commencer à partir du niveau le plus bas de la fissure. Quand l'époxyde commence à sortir du prochain orifice (tout juste au dessus), l'injection doit s'arrêter, et, continuer à partir de ce prochain bec, en ayant pris le soin de sceller le précédent au préalable. Pour parachever la réparation époxyde, les becs sont pliés et attachés fermement. Ils peuvent être coupés à ras et scellés d'un composé

de raccordement époxyde. Un procédé semblable est utilisé pour les mortiers de ciment, sauf que la pression d'injection est inférieure d'un ordre de grandeur.

La technique est largement appliquée et est tout à fait efficace, à condition que la fissure soit bien dégagée en profondeur. Cependant, elle exige une main d'œuvre spécialisée, et des matériaux plutôt coûteux. La résistance est habituellement rétablie, ce qui n'est pas toujours le cas de la rigidité. L'injection n'a aucun effet sur la ductilité des éléments en flexion [4].

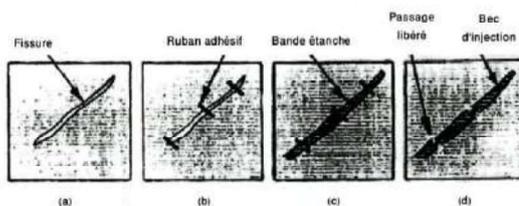


Fig.8 - Application de résine époxyde pour réparer une fissure

4.1.4- Remplacement du béton détérioré

Les parties de béton non adhérentes devraient être prélevées jusqu'à ce que le béton sain soit atteint. Le béton tout autour des armatures ayant subi des dommages devrait être enlevé, jusqu'à ce que les barres soient suffisamment dégagées pour pouvoir remplacer le béton défectueux par du mortier. Le matériau de rechange est généralement un époxyde ou un béton de ciment. Pour de tels matériaux de réparation, aucun agent collant époxyde n'est appliqué nécessairement au substrat.

Selon la taille et la profondeur, de la partie dégradée à remplacer, le sable, gravier ou les agrégats bruts peuvent être employés. Le mortier de réparation est projeté normalement à l'aide de truelle contre le substrat. Généralement le coffrage n'est pas nécessaire.

4.1.5- Remplacement des armatures

Si les armatures sont sujettes au flambement ou à une rupture significative, une certaine longueur d'elles doit être coupée et remplacée proprement, en tenant compte des conditions d'enrobage. La jonction avec les armatures existantes peut se faire par recouvrement géométrique ligaturé, ou par soudure en recouvrement, et non pas en bout à bout. Dans certains cas, il devient nécessaire d'étayer l'ouvrage avant réparation.

4.2- SOUS L'INFLUENCE D'UN ENVIRONNEMENT AGRESSIF

4.2.1- Introduction

Au cours de ces dernières années, de nombreuses structures en béton armé situées dans des régions géographiquement différentes, ont montré un signe alarmant de détérioration sous l'effet des agents extérieurs. Le béton armé est considéré comme étant un matériau résistant et durable dans des conditions normales d'utilisation. Les structures en béton armé sont conçues pour une durée de vie variant de 50 à 100 années. Cependant, ces conditions de services favorables ne sont pas toujours réunies sur le site. La présence d'eau ou de moisissure contenant de l'oxygène, et d'agents contaminants (tels que les chlorures de calcium utilisés comme adjuvants (additifs)) peuvent être nuisibles aux caractéristiques du béton.

4.2.2- Causes :

Les principales sources de corrosion des armatures sont la carbonatation et la contamination par chlorures. Le premier cas est

en relation avec l'attaque progressive de l'extérieur vers l'intérieur du béton, du carbonate de calcium. Le béton réagit avec le dioxyde de carbone contenu dans l'air et perd son alcalinité, permettant ainsi aux armatures d'être corrodées. Le tableau 3 montre la progression du carbone, qui est variable et dépendant de plusieurs facteurs, selon la durée de vie d'une structure.

Caractéristique du béton à 28j	conditions	Progression du carbone (profondeur /année)			
		7 années	10 années	12 années	50 années
20 [Mpa]	Normales		12 [mm]		25 [mm]
	Agressives	15 à 20 [mm]		Jusqu'à 70 [mm]	

Tableau 3 - Progression du carbone

Dans le deuxième cas, les chlorures de calcium présents dans le béton (utilisés comme additif) ou l'eau de mer sont des agents fréquents qui attaquent le béton et accélèrent le processus de corrosion des armatures.

Dans les deux cas la formation de rouille augmente le volume des armatures (b) et génère des contraintes de traction provoquant des fissures dans le béton (c) (voir fig.9)

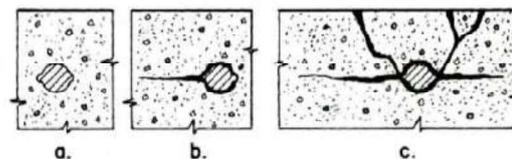


Fig.9 – Dommage physique (formation de fissures autour de l'armature)

4.2.3- Diagnostic

La réparation et l'entretien des structures détériorées, particulièrement dans l'environnement marin exigent beaucoup de recherche, car c'est toujours difficile de prévoir, à l'avance, la nature et le degré de contamination. Les premiers symptômes d'une structure touchée peuvent souvent être évidents, tels que les fissures, l'effritement et/ou la décomposition à un stade avancé, et la décoloration de surface du béton dans l'environnement marin [2]. Mais, parfois, des structures mises en danger par corrosion ne sont pas facilement identifiées. Seul un œil expérimenté peut détecter le problème à un stade primaire de détérioration. Une fois le problème constaté l'inspection soigneuse de la structure est faite pour découvrir les proportions touchées et pour analyser les dommages locaux par prélèvement d'échantillons qui peuvent fournir de plus amples informations sur l'ampleur de la corrosion, de composition matérielle et de la profondeur de l'enrobage. La profondeur de l'enrobage est essentielle dans l'environnement agressif pour les structures en béton armé, car la corrosion se produira automatiquement dans le cas où celle-ci est insatisfaisante.

4.2.4- Traitement et méthodes de réparation

L'établissement d'un procédé de réparation efficace et permanent pour empêcher les conséquences de la corrosion au coût minimum est toujours dans l'esprit de beaucoup de chercheurs. Une fois qu'une structure est réalisée, habituellement peu de choses peuvent être fait pour changer l'influence agressive et la limite de

détérioration agressive à un coût raisonnable, car le besoin de la réparation est souvent dicté par l'urgence du problème. Différentes techniques sont employées, selon l'ampleur de la corrosion; on peut par exemple enlever toute la partie affectée par des outils manuel ou des marteaux-piqueurs légers. Mais quand une structure est déclarée comme étant dangereuse ou les réparations sont considérées non rentables, sa démolition, par des techniques d'explosion ou par les composés chimiques dans le cas où les vibrations ne sont pas recommandées, représente une solution évidente.

Les méthodes de réparation dépendent principalement de la nature et de la vie de la structure. Dans le cas d'une structure dont la durée de vie est limitée les réparations locales peuvent être le seul choix. Les méthodes conventionnelles de réparation sont la plupart du temps adéquates dans ce genre de structures. Le béton « souillé » est enlevé et la structure est retapée avec du béton frais, alors que l'injection d'époxyde peut être employée pour sceller les fissures. Ces méthodes conventionnelles présentent beaucoup de difficultés car la partie effective à enlever est sujette à l'incertitude. Il est très difficile de définir avec précision le secteur à enlever pour éliminer toute possibilité de corrosion future. En conséquence il n'y a aucune garantie que de telles réparations seraient durables et elles pourraient être chères. La protection cathodique considérée dans la prochaine section est la seule méthode connue, capable de réduire la corrosion indépendamment du chlorure de calcium, parce qu'une fois que le sel a imprégné le béton, la corrosion ne peut pas être arrêtée par des méthodes conventionnelles de réparation.

4.2.5- Protection cathodique

a)- Introduction

La protection cathodique des barres en acier a été en service depuis le début des années cinquante [6] et est considérée comme une stratégie de réparation à long terme. Elle attaque la corrosion à sa racine, en empêchant la diffusion de chlorure. Elle peut être appliquée partout dans les structures en béton armé là où contamination par sel se produit, et donne de meilleurs résultats que n'importe quelle autre méthode de réparation, indépendamment de la teneur en chlorure du béton [7,8]. Cependant, la protection cathodique n'est pas recommandée dans le béton précontraint et là où le procédé de corrosion se produit seulement en tant que conséquence de la carbonatation du béton, en raison de la nature électrochimique de cette méthode de réparation. Dans le premier cas, les voltages peuvent probablement mettre en danger la structure en diminuant la résistance de l'acier mis en tension (réaction avec de l'hydrogène); Dans le second, le système fourni par la protection cathodique n'agit pas correctement en raison de la résistivité électrique élevée du béton (la carbonatation du béton perturbe la circulation du courant vers les armatures). La méthode actuelle est fréquemment utilisée là où les effets de corrosion, dus à la teneur de chlorures dans le béton, atteignent une étape très avancée.

b)- Conception et installation du système

La protection cathodique se compose d'un système d'anode et de cathode, relié électroniquement, comme représenté sur le schéma 10. Le système est alimenté par une source d'énergie, qui fournit un courant continu de quelques ampères aux armatures à travers le béton et arrête la corrosion en annulant le courant généré par le processus de corrosion. A cela une bonne surface de préparation, un matériel approprié, et une main d'œuvre qualifiée sont nécessaires. La grille constituant l'anode qui est noyée dans le béton, ayant une résistance électrique modérée (< 500 ohm.m), est attachée sur la surface propre de béton (par des agrafes ponctuelles, collée sur la surface, etc...). La plupart des anodes sont faites avec un métal

léger appelé Titanium, considéré comme étant l'un des plus stable et résistant matériau à la corrosion [9]. Les anodes sont disponibles sous diverses formes, telles que la grille, le ruban, la tige, le fil... De plus, elles gardent la même forme et n'affectent pas le béton pendant leur durée de vie qui est d'environ 25 ans.

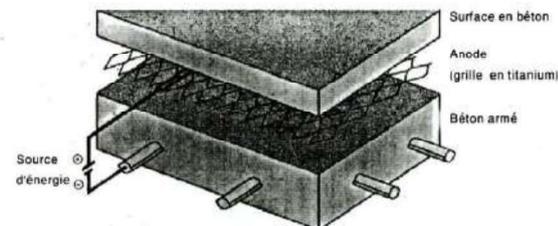


Fig.10 - Système de la protection cathodique

c)- Mécanisme de la protection cathodique

La protection cathodique est une source d'énergie extérieure, alimentant constamment la structure afin d'annuler ou d'inverser le sens du courant électrique créé par le processus de corrosion. Elle induit un courant continu de basse tension passant d'une anode placée dans le béton pour se décharger dans les armatures. Les schémas 11 à 14 représentent les différentes étapes du processus de corrosion. Dans un environnement agressif, les ions de chlorure attaquent la structure et pénètrent par les pores du béton et détruisent la passivité de l'armature juste sous l'enrobage (fig.11). En raison de cette variation de concentration en sel (l'acier juste sous l'enrobage est en activité, alors que l'état passif est toujours observé dans les autres armatures) une différence de potentiel est créée, faisant circuler un courant électrique de l'anode (acier juste sous l'enrobage) vers la cathode (acier non actif), comme montré dans (fig.12). En même temps la différence de potentiel conduit à une réaction électrochimique à la surface de l'acier; réaction de corrosion (réaction d'oxydation) à l'anode et de réduction (consommation des électrons) à la cathode (fig. 13). Le schéma 14 montre l'accomplissement du circuit électrique par un mouvement ionique à travers le béton qui sert d'électrolyte. L'élimination des différences de potentiel entre les différentes parties du ferrailage est réalisée par un courant électrique employé par la protection cathodique pour transférer le processus d'oxydation à une anode supplémentaire ajoutée à cette fin (fig.15) qui peut soutenir les réactions d'oxydation. Par conséquent l'anode précédente devient une cathode (fig.16). Les schémas 11 à 16 sont illustrés dans la référence [8].

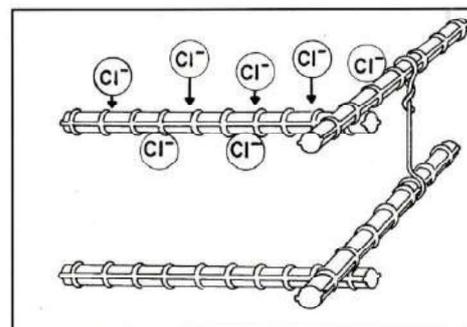


Fig.11 - Pénétration de chlorures

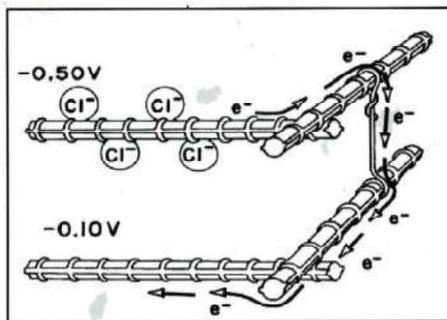


Fig.12 - Différence de potentiel

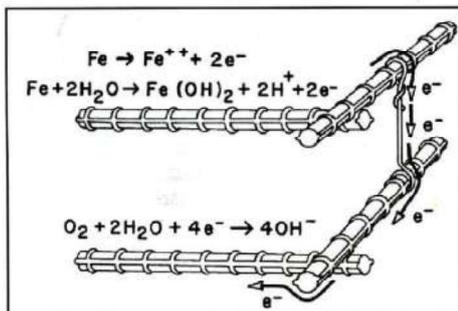


Fig.13 - Réactions de la corrosion

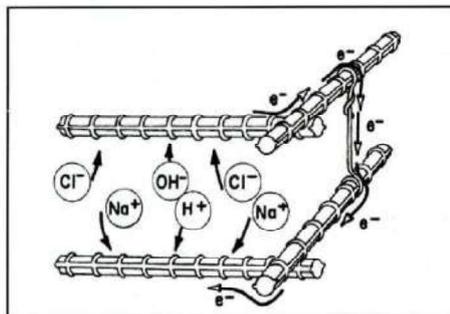


Fig.14 - Mouvement des ions

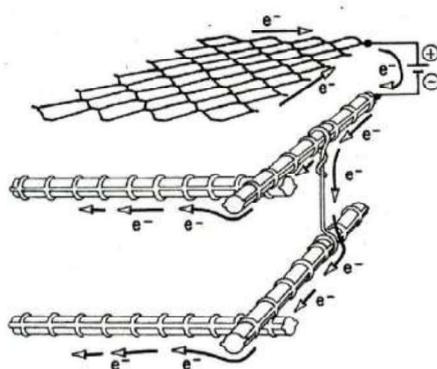


Fig.15 - Transfert du processus d'oxydation vers une anode supplémentaire

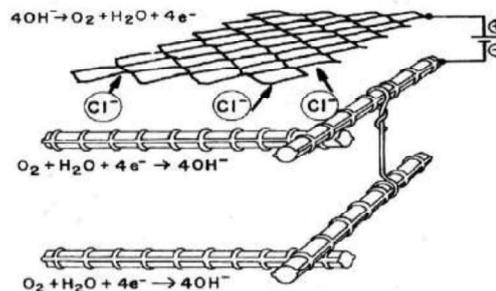


Fig.16 - Migration des ions de chlorures

d) - Conclusion

La protection cathodique peut être utilisée seulement là où la corrosion se produit en raison de la contamination de sel, et, est la seule méthode connue pour pouvoir réduire la corrosion et maintenir la structure sûre indépendamment de la teneur en chlorure du béton. Cependant la structure doit être réparée avant que la protection cathodique puisse être appliquée.

Ceci implique le procédé pour être cher parfois, comme coût de réparation et d'entretien, change du cas au cas et est particulier pour une structure donnée à la réadaptation d'ampleur. La réparation localisée représente un coût inférieur mais sa durée de vie est en général courte. Il s'avère [9] que la protection cathodique offre la meilleure combinaison en regard de la qualité (performance et durée de vie > 25ans)/coût.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. MARY MONRO
A cure for sick structures? International Constructions, May 1986, pp. 25-30.
2. GLASSGOLD, I. LEON
Repair of seawater structures - An overview. Concrete International, March 1982, pp. 47 - 56.
3. HAYNES, J. M.
Stainless steel reinforcement. Civil Engineering, August 1984, pp. 23 - 28.
4. M. A. MANSUR et K. C. G. ONG
Epoxy - Repaired beam. Concrete International, October 1985, pp. 46 - 50
5. BERTERO et AL. 1980
6. WYATT, B.
Cathodic protection of R.C. - The long term repair strategy. Construction Repair, Feb. 1987, pp. 26 - 32.
7. CORROSION CONTROL - JOINT VENTURE.
Technical report CEA Committee E4-9, NACE corrosion, Sept. 1988.
8. BENNETT, J.
Corrosion of reinforcing steel in concrete and its prevention by cathodic protection. ELTECH System Corporation, 625East Street, Fairport Harbor, Ohio 44077, 16p.
9. TVARUSK, A., BENNETT, J.E.
CP of rebar with titanium anode mesh - Practical aspects of cathodic protection of steel reinforcement in concrete with a proprietary activated titanium mesh anode, ELTECH, Switzerland/USA, 17p.