

Actualités techniques et industrielles

Événement

Le diagnostic des ouvrages en béton armé dégradés par la corrosion

Rencontre CEFRACOR du 24 juin 2010

Par Guy Taché, Véronique Bouteiller, Marc Brouxel

CEFRACOR - 28 rue Saint Dominique - 75007 Paris

Dans le cadre d'une préoccupation particulière pour le développement durable, l'environnement et la préservation du patrimoine, le CEFRACOR (Centre français de l'anti-corrosion) a organisé une journée d'information et d'échanges sur le diagnostic des ouvrages en béton armé dégradés par la corrosion. À travers des exposés et d'une table ronde, il a été présenté l'état de l'art sur les méthodes utilisées, en montrant l'économie réalisée en respectant un minimum de mesures de prélèvements et d'analyses et ses risques encourus en cas de diagnostic incomplet ou erroné.

La corrosion des armatures est le principal paramètre limitant la durée de vie des ouvrages en béton armé : génie civil, ouvrages d'art, industrie, bâtiment, monuments historiques, ... La sélection des méthodes de réparation est parfois délicate, pour assurer une durée de vie suffisante aux ouvrages dégradés. L'étape de diagnostic est donc cruciale pour établir le meilleur choix, sur des considérations à la fois techniques, stratégiques et économiques.

À un moment où les nations industrialisées se préoccupent tout particulièrement de développement durable, d'environnement et de préservation du patrimoine, il a paru opportun au CEFRACOR (Centre français de l'anti-corrosion) d'organiser une journée d'information et d'échanges sur ce thème. Elle s'est tenue le 24 juin 2010, à Paris au siège de la fédération Nationale des Travaux Publics, et était destinée aux maîtres d'ouvrages, prescripteurs et aux laboratoires travaillant dans ce domaine.



Le principe de l'organisation de cette journée est issu de la Commission Construction-Bâtiment, et cela fait d'ailleurs partie de la tradition de s'associer avec le STRRES (Syndicat National des Entrepreneurs Spécialistes de Travaux de Réparation et de Renforcement des Structures), pour échanger sur des thèmes tournant autour de la problématique de la corrosion des armatures, de leur protection, et de leur réparation. Ceux-ci avaient été déjà abordés par le passé [1, 2]. La commission a, par ailleurs, plusieurs autres sujets d'étude en cours, dont ceux des inhibiteurs, des anodes galvaniques et de la protection cathodique.

L'idée de cette journée est venue d'un constat : de très nombreux diagnostics sont effectués sur des ouvrages, et beaucoup ne sont pas adaptés. Il a semblé qu'il manquait un dialogue entre les maîtres d'ouvrages ou gestionnaires, les maîtres d'œuvre ou bureaux d'étude, les laboratoires, sur le sujet des objectifs et les préoccupations des premiers et les moyens mis en œuvre.

Les objectifs de cette rencontre ont été :

- de présenter l'état de l'art sur les méthodes utilisées ;
- de mettre en évidence l'économie réalisée en respectant un minimum de mesures de prélèvements et d'analyses, effectués dans les conditions les plus simples ;

mais également :

- de montrer les risques encourus en cas de diagnostic incomplet ou erroné.

Lors de cette journée, divers exposés et discussions ont porté sur les thèmes suivants :

- le point de vue des gestionnaires d'ouvrages ;
- les méthodes usuelles de diagnostic sur le site et en laboratoire (avec exemples pratiques) ;
- les méthodes avancées et en développement ;
- la modélisation ;
- la formation et la qualification.

La journée s'est conclue par une table ronde au cours de laquelle des échanges fructueux ont pu avoir lieu.

La problématique de la corrosion des armatures et le diagnostic

La progression de la corrosion des armatures se résume en deux phases [3] : une phase d'amorçage, et une phase de propagation et croissance conduisant à la dégradation de la structure elle-même. Deux mécanismes essentiels conduisent à la dépassement des armatures. Les méthodes de diagnostic basiques et essentielles dérivent de ces mécanismes : la *carbonatation* et les *chlorures*. Ces méthodes permettent, d'une part, de faire la relation entre la position des armatures (enrobage) et le degré de neutralisation ou de pollution du béton (profondeur de carbonatation, profils en chlorures), et d'autre part, de détecter l'état de corrosion des armatures (cartographies de potentiel en présence de chlorures).

Des mesures complémentaires sont nécessaires à la compréhension des matériaux constitutifs de l'ouvrage. Elles portent, à partir de prélèvements, sur la recherche des caractéristiques du béton, ou de sa pathologie : déterminations physiques (porosité ou volume des vides, perméabilité, résistance à la compression), des analyses chimiques, des examens macro ou microscopiques, etc. La sélection des zones et le mode de prélèvement sont alors fondamentaux.

Sur site, les mesures de vitesse de corrosion ou de résistivité affinent le diagnostic, en présence de chlorures essentiellement, en respectant toujours les principes suivants : la périodicité (ces mesures étant susceptibles d'évoluer dans le temps, il est préférable de les étudier sur une période assez longue) et la localisation (du fait du caractère même de la corrosion, l'emplacement des mesures est essentiel. Il faut favoriser le tracé de cartographies dans des zones spécifiques).

En conclusion, le cadre du diagnostic doit donc être mieux situé et ses objectifs parfaitement clairs. Il est ensuite nécessaire d'éviter l'accumulation de données impossibles à traduire en termes de directives opérationnelles par le maître d'ouvrage.



▲ et ▼ Corrosion d'armature spectaculaire sur un poteau de réservoir de stockage d'eau, référence [3].



Les divers points de vue des gestionnaires

Au cours de cette journée, les divers points de vue ont été clairement exprimés [4, 5]. Ils dépendent essentiellement des compétences techniques du maître d'ouvrage, qu'il soit ou non propriétaire.

Deux cas se présentent :

- si le gestionnaire possède ces compétences, il assure lui-même la coordination des différents intervenants ;
- dans le cas contraire, il a besoin « d'un expert » (ou d'un groupe d'experts dans les cas complexes) qui lui apporte assistance et conseil pour coordonner les intervenants, passer les commandes et conclure.

En pratique, l'élaboration du cahier des charges du diagnostic s'avère être une tâche ardue. Ne bénéficiant pas de cadre réglementaire, ceci peut laisser la porte ouverte à un bureau d'études pour effectuer des propositions (lorsque la problématique est complexe, et nécessite la mise en œuvre de moyens en conséquence). Rappelons que dans le cadre d'un diagnostic de corrosion satisfaisant, sont nécessaires : (i) une visite préalable notamment pour mettre en évidence les contraintes du site ; (ii) une évaluation des désordres (nature, localisation, quantitatif ...) qui permettront de mettre en adéquation les moyens à mettre en œuvre ainsi que les préconisations des réparations ; (iii) une analyse approfondie de la fonction technique et structurelle de l'ouvrage.

Enfin, les désordres ne sont pas uniformes dans leur ampleur sur l'ensemble d'un ouvrage, et les moyens mis en œuvre doivent prendre en compte cette discontinuité.

En réalité, il n'existe pas de référentiels pour l'ensemble des investigations, par exemple :

- inspection visuelle : il n'y a pas de langage commun ;
- mesures in situ, prélèvements : il peut y avoir un problème de représentativité ;
- essais et analyses de laboratoire : il reste des incertitudes sur la fiabilité.

De plus, des questions importantes demeurent : y a-t-il des agréments pour les laboratoires et une qualification pour les intervenants ? Comment juger de la qualité et de la pertinence des résultats ? Les gestionnaires sont censés sélectionner le mieux disant, mais les critères techniques dont ils disposent sont parfois insuffisants alors que la pression budgétaire pour aller vers le moins cher est forte.

Par ailleurs, le rapport doit être aisément compréhensible : présentation séparée de tous les résultats (qui pourraient être analysés ultérieurement notamment pendant la phase réparation), et de leur interprétation.

Il apparaît finalement que les objectifs doivent être parfaitement définis car l'influence de paramètres « extérieurs », sans aucun rapport avec la durabilité du béton armé lui-même peut être prépondérante (enjeux, aspect stratégique, durabilité des équipements, coût de l'ouvrage ou des parties d'ouvrage).

L'inspection détaillée des ouvrages

C'est la première étape du diagnostic [6], permettant ensuite d'envisager des investigations, des prélèvements, et d'en localiser les emplacements. Il s'agit d'effectuer un relevé des désordres (fissures, délaminations, armatures apparentes, etc.) le plus précis possible à un temps t donné, sachant que c'est sur l'évolution des phénomènes observés dans le temps qu'il va falloir se prononcer dans un but de durabilité. Ainsi, une inspection visuelle prend tout son intérêt si elle s'inscrit dans le cadre d'une continuité. Les désordres observés sont non seulement relevés, mais identifiés, classés et cartographiés.

Le métier d'inspecteur fait l'objet de formations sous l'impulsion du LCPC et de l'association « L'œil vif ».

Les mesures de base in situ et leur interprétation

Elles interviennent après qu'une définition précise d'un programme expérimental ait été adopté [7, 8].

La détection des armatures et la mesure de leur enrobage est une des méthodes de base, que la corrosion soit due à la carbonatation ou aux chlorures. Les méthodes utilisent des instruments basés sur des principes magnétiques ou électromagnétiques. Il faut insister sur plusieurs aspects : de nombreuses mesures sont nécessaires (dans des zones représentatives des désordres ou de leur absence) afin de pouvoir donner une interprétation statistique. Ces mesures seront systématiquement comparées à la profondeur de carbonatation (test à la phénolphaléine) ou la pénétration des chlorures (profils sur prélèvements) de manière à savoir si les armatures se trouvent dans un environnement « pollué » ou agressif.

Les cartographies de potentiel permettent de renseigner de manière qualitative sur l'état de corrosion des armatures (notamment en milieu chloruré). Le point clef est la sélection de zones représentatives. Les méthodologies de mesure sont décrites.

D'autres méthodes moins courantes telles que la résistivité et les mesures de vitesse de corrosion peuvent également aider au diagnostic (voir [11]).

Il faut insister sur la complémentarité des mesures à réaliser lors d'un diagnostic de corrosion. Les résultats des mesures de corrosion doivent être exploités en connaissant les résultats des essais de laboratoire et c'est la globalité des informations qui fournira le diagnostic précis qui permettra d'élaborer des recommandations sur la méthode de réparation la plus adaptée.

Les méthodes de laboratoire

Les moyens de laboratoire ne sont qu'imparfaitement connus de la profession, et il est important de préciser ceux qui sont les plus adaptés [9, 10]. Ils portent toutefois sur des prélèvements effectués sur des échantillons eux-mêmes issus de parties de l'ouvrage. Ceci peut affecter le jugement de la représentativité de l'ensemble des résultats. Il est fondamental que la coordination soit assurée sur l'ensemble de la chaîne d'intervention. La méthode de

prélèvement, la localisation de ceux-ci, leur examen sont des opérations fondamentales.

Le résultat final (par exemple estimation du dosage en ciment du béton en place) dépend également fortement de la nature, de la forme et de l'état du prélèvement ainsi que des hypothèses de calcul. Les méthodes analytiques sont précises, et peuvent être évaluées. La connaissance d'un minimum de données sur l'ouvrage et des matériaux est toutefois nécessaire afin d'affiner la présentation et l'interprétation des résultats en termes opérationnels pour le maître d'ouvrage.

Méthodes en développement et modélisation

La méthode électrochimique basée sur la mesure de la résistance de polarisation linéaire permet de calculer une densité de courant de corrosion qui constitue la seule information quantitative sur l'état de corrosion des armatures à un temps t donné. On parle alors de vitesse de corrosion instantanée. Toutefois les résultats de ces mesures sont dispersées et leurs interprétations sont parfois délicates, d'où là encore le besoin de personnel compétent. Par ailleurs, ces mesures continuent de faire l'objet de recherches qui ont été présentées, dans leur état d'avancement (programme APPLLET : durée de vie des ouvrages - approche prédictive performantielle et probabiliste) [11]. Les résultats de ces mesures peuvent permettre d'affiner les interprétations du diagnostic global de corrosion. Toutefois, ils sont dépendants de la méthodologie de mesure et de l'appareillage utilisé sur chantier.

La modélisation, dans ce cadre, a pour objectif d'estimer la probabilité que la corrosion soit amorcée [12]. Ensuite, des calculs de résistance structurelle basés sur ces modèles peuvent être entrepris, mais il faut attirer l'attention sur la différence entre un calcul réglementaire (basé sur les Eurocodes par exemple) et les calculs réalistes. En effet, plusieurs données ne sont pas accessibles à l'expérience comme la surface totale corrodée, l'état réel de corrosion, le niveau d'adhérence entre l'acier et le béton, ...).

Enfin, plusieurs réseaux [13] existent regroupant des entités diverses, dont des maîtres d'ouvrages et des laboratoires universitaires. Les objectifs sont d'améliorer la qualité des réparations en engageant des actions de recherche et en finalité la rédaction de fiches spécifiques.



Conclusions et suites à donner

La table ronde a permis de mettre en évidence l'absence de guide spécifique, comprenant, d'une part, une liste de tout ce qui est adapté à la pathologie (inspection, essais in situ, de laboratoire), et, d'autre part, les moyens d'interprétation.

Elle a aussi renforcé l'idée que chacun doit se retrouver dans son rôle : le maître d'ouvrage, le maître d'œuvre, le bureau d'étude, le laboratoire, le contrôleur. Un pilote est néanmoins nécessaire.

Une suite va donc être donnée à cette rencontre, par la formation d'un groupe de travail animé par les associations « L'œil vif » et le CEFRACOR, pour la rédaction d'un guide sur « la méthodologie de diagnostic des ouvrages courants en béton armé ».



Bibliographie

[1] *Diagnostic des ouvrages en béton armé : état, méthodes, prévision du vieillissement*, CEFRACOR, 12-13 octobre 1998, Saint-Rémy-lès-Chevreuse

[2] *Réhabilitation du béton armé dégradé par la corrosion*, Documents techniques et scientifiques, AFGC/CEFRACOR, 2003

Présentations au cours de la rencontre du 24 juin 2010

[3] « *L'adaptation des besoins du diagnostic à la problématique de la corrosion des armatures* » par Guy Taché (CEFRACOR)

[4] « *De l'expression du besoin à la mise en œuvre d'un diagnostic d'un ouvrage en béton armé : point de vue d'un maître d'ouvrage* » par Nicolas Menard (Grand Port Maritime de Nantes Saint-Nazaire)

[5] « *Gestion des actifs des lignes en support béton* » par Serge Imbert (RTE)

[6] « *L'inspection détaillée : la première étape du diagnostic* » par Marc BROUXEL (CONCRETE) et « *La formation des inspecteurs : l'exemple de la formation qualifiante « Œil vif - LCPC - PFE* », par Pascale Dumez (CONCRETE et secrétaire de l'association Œil vif)

[7] « *Les investigations sur site* » par Aurélie Dollet (Ginger CEBTP)

[8] « *Du diagnostic à la prescription* » par Christophe Michaux (In Situ)

[9] « *Les essais et analyses de laboratoire* » par Nouredine Rafai (LERM)

[10] « *L'exploitation des analyses d'un béton durci* » par Sophie Blondelot (Ginger CEBTP)

[11] « *Programme ANR APPLLET - Diagnostic de la corrosion* » par Véronique Boutellier (LCPC)

[12] « *Appui à la maîtrise d'ouvrage : des spécifications à l'aide à la décision par un pronostic sur la période de durée de vie* » par Isadora Cornich-Bowden (OXAND)

[13] « *Le projet européen DURATINET : mettre en réseau les connaissances, les bonnes pratiques et les interrogations sur le diagnostic et la maintenance des ouvrages* » par Sylvie Yotte (Université Bordeaux 1)