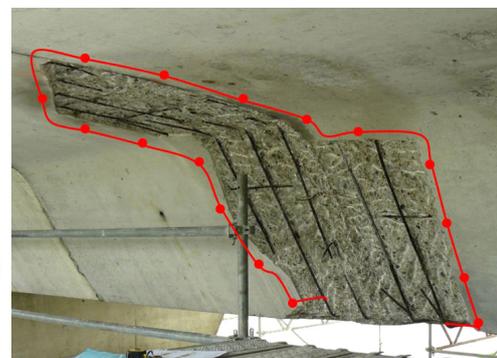
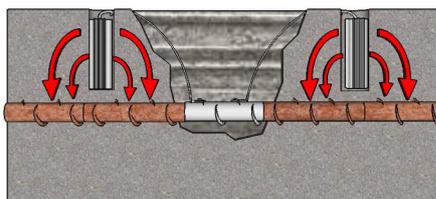


Protection galvanique des aciers dans le béton (par anodes sacrificielles)



Photos FREYSSINET et BTPS

PRÉSENTATION

La durabilité des armatures du béton armé est notamment assurée par leur enrobage de béton sain, qui de par son fort pH [12 à 13], lié à l'hydratation du ciment qui génère de la chaux dans le réseau capillaire, crée un milieu basique protecteur. Dès que cette condition n'est plus remplie (carbonatation) ou que le béton est pollué en particulier par des ions chlorures, l'acier peut se corroder par corrosion dissolvante ou par développement de produits de corrosion expansifs capables de faire éclater le béton d'enrobage.



Avec la participation de



Protection galvanique des aciers dans le béton (par anodes sacrificielles)

PRÉSENTATION

La réparation de l'ouvrage dégradé peut consister au remplacement du béton carbonaté, pollué et/ou désorganisé complété par divers traitements de protection des armatures dans l'objectif d'instaurer une homogénéité électrochimique :

- protection cathodique,
- extraction d'ions chlorures et la ré-alcalinisation,
- dans une moindre mesure, mise en œuvre d'inhibiteurs de corrosion à la surface du béton (sur béton carbonaté en absence de chlorures),
- ou la combinaison de ces différentes techniques.

Sans traitement complémentaire, l'expérience montre que 5 ou 10 ans après une réparation locale des bétons, de nouvelles surfaces corrodées se développent dans les zones non traitées par effets de pile en périphérie des zones réparées. On parle alors d'anodes induites.

La protection cathodique consiste à abaisser le potentiel d'une armature pour que sa vitesse de corrosion devienne négligeable. L'objectif est de limiter voire annihiler la réaction d'oxydation sur les sites actifs de l'armature.

La protection cathodique peut être appliquée sur des ouvrages neufs ou des ouvrages existants qui ne présentent aucune corrosion (prévention cathodique). Dans ce cas, son rôle est de préserver la passivité des armatures.

Si l'ouvrage est déjà attaqué, la protection cathodique doit restaurer cette passivité.

Cette protection est installée de manière durable sur l'ouvrage.

Deux méthodes peuvent être utilisées :

- protection cathodique par courant imposé (PCCI) au moyen d'un générateur électrique qui impose un courant circulant de l'anode (classiquement un système anodique en titane activé, disposé dans ou sur la surface de la pièce à protéger et enrobé dans un matériau à base de liants hydrauliques) vers l'armature ;
- protection cathodique par courant galvanique (PCCG) (objet de la présente RECOS), également appelée protection par anodes sacrificielles, c'est-à-dire au moyen d'une anode en général en zinc, placée sur le parement (par exemple, film de zinc projeté ou collé sur la surface de la pièce à protéger) ou dans le béton sous formes d'anodes discrètes. L'ensemble anodique est relié directement à l'armature (création d'un courant galvanique). Le principe général de la protection galvanique est de ralentir la vitesse de corrosion en faisant passer un courant continu de protection de l'anode vers la surface du métal à protéger. Une telle installation doit avoir une durée de vie calculée par des spécialistes certifiés en protection cathodique secteur béton en fonction du contexte. L'effet de protection galvanique est étroitement lié à la résistivité du béton et donc, notamment, à son taux d'humidité, sa compacité, son taux de ciment, etc.

Nota : Cette technique verra son efficacité très fortement réduite lorsque les anodes sont situées dans un béton continuellement sec.

Protection galvanique des aciers dans le béton (par anodes sacrificielles)

RECOMMANDATIONS

Modes opératoires

La prescription doit être établie et validée par un spécialiste en la matière niveau IV secteur béton tel que défini dans la norme NF EN ISO 15257 [2017] *Protection cathodique niveaux de compétence et de certification du personnel*.

Cette prescription doit être basée sur des résultats de diagnostic mené par du personnel qualifié, permettant ainsi de définir un traitement robuste et légitime basé sur des constatations.

Diagnostic :

- mesure de la profondeur de carbonatation ;
- mesure des profils de chlorures (profondeur et dosage) ;
- mesure de l'enrobage, localisation et caractérisation des armatures ;
- contrôle de la continuité électrique des armatures ;
- mesure du potentiel d'électrode acier/béton et détection des zones où la corrosion est probablement active (cartographies de potentiels) ;
- vérification de l'homogénéité de la résistivité électrique du béton de la structure.

Le choix du procédé sera adapté au niveau de corrosion des armatures et dépendra de l'état de l'ouvrage, de l'ensemble des paramètres caractérisés lors du diagnostic préalable selon la liste donnée ci-avant et de la présence ou non d'armatures précontraintes. Ce choix pourra être validé lors d'essais de convenance préalables suivant l'importance de l'opération.

Dimensionnement

Le dimensionnement d'une installation par anodes galvaniques consiste à estimer le besoin de courant de protection de la structure envisagée (prévention ou protection cathodique) et, en tenant compte de la durée de vie attendue, à déterminer par le calcul la masse anodique et par voie de conséquence le nombre et la position des anodes. Ce dimensionnement sera réalisé par un bureau d'études spécialisé disposant des personnels certifiés niveau IV secteur béton, selon la norme NF EN ISO 15257 [2017].

Points clefs du dimensionnement d'une protection cathodique :

- 1- découpage de la structure en zones homogènes en tenant compte de la densité de ferrailage et des expositions à l'humidité et à l'oxygène,
- 2- étude du ferrailage : détermination de la surface d'acier à protéger, du ratio surface acier/surface béton, caractérisation de l'organisation des aciers,
- 3- calcul des masses d'anode selon la durée contractuelle de service et des besoins en courant,
- 4- choix de l'anode : forme, longueur, disponibilité sur le marché,
- 5- étude de la répartition des anodes sur l'ouvrage selon leur rayon d'action et la forme et la densité du ferrailage),
- 6- rédaction des documents d'exécution donnant l'implantation et les informations nécessaires à la bonne mise en œuvre des systèmes (Nomenclature, plans, procédures de pose...),
- 7- définition des zones contrôlées et des dispositions envisagées pour le suivi dans le temps et l'évaluation de la performance du dispositif.

Protection galvanique des aciers dans le béton (par anodes sacrificielles)

RECOMMANDATIONS

Les anodes galvaniques pour le béton sont très généralement à base de zinc dont la norme DNV RPB401 spécifie les exigences de qualité et recommande les compositions et caractéristiques électrochimiques.

Le débit des systèmes à anodes galvaniques s'adapte naturellement en fonction des besoins en courant des aciers du béton et de la résistance du circuit.

La norme NF EN ISO 12696 est une norme à caractère performanciel qui définit clairement les critères d'efficacité que les systèmes doivent atteindre ; le dimensionnement devra donc être effectué dans cet objectif.

La prévention ou la protection galvanique comprend les différentes phases de travaux suivantes :

■ Réparation des zones dégradées :

- repiquage jusqu'au béton sain, préparation de surface des armatures, reconstitution du parement avec des mortiers et bétons spéciaux selon les normes NF EN 1504-3 et 1504-9, NF P 95101 et 95 102,

NB : la passivation des aciers dans le béton est à proscrire de façon impérative dans toutes les zones concernées par la protection galvanique.

- restitution de l'étanchéité de l'ouvrage le cas échéant.

■ Mise en place du matériel anodique :

- anodes surfaciques

Elles peuvent prendre la forme d'un film de zinc projeté, de feuilles collées ou d'un treillis intégré dans un enrobage complémentaire.

- préparation de surface du béton,
- connexions électriques aux armatures,
- si zinc projeté : projection thermique en plusieurs passes ; contrôle d'épaisseur,
- si zinc collé : collage des bandes de zinc sur la surface du béton à protéger à l'aide de gels conducteurs ioniques,
- mise en place d'une protection de l'anode,
- si treillis noyé – jacket anode : pose de treillis en zinc déployé et coulage d'un enrobage supplémentaire à l'aide d'un micro béton spécifique.

- anodes discrètes

Elles sont constituées d'un noyau d'alliage sacrificiel activé par un mortier cimentaire ou une matrice hydraulique.

Selon la forme de la surface à traiter, deux modes de mise en place :

1/ système installé directement sur armatures (pour des zones réparées de dimensions limitées)

La connexion aux aciers est réalisée directement par un fil métallique.

Ces anodes doivent être disposées en périphérie des zones réparées plutôt que dans les zones réparées.

2/ systèmes en peigne

Les anodes sont placées dans des carottages dans le béton adhérent aux armatures et reliées entre elles en peigne par des câbles placés dans des rainurages aménagés dans le béton. Les formes de peignes (en ligne, en boucle ou en quinconce) permettent de s'adapter aux surfaces à traiter ; la disposition doit être conforme aux études de conception.

Protection galvanique des aciers dans le béton (par anodes sacrificielles)

RECOMMANDATIONS

Points importants

La continuité électrique de toutes les armatures de la zone à traiter doit être assurée.

- La connexion aux armatures doit être parfaite pour éviter la formation de sels ou d'oxydes perturbant le couplage, typiquement une connexion soudée est recommandée.
- Il est fortement recommandé de valider le choix de la protection galvanique par un essai de convenance préalable.
- Ce principe d'anodes n'est pas adapté aux bétons à trop forte résistivité et lorsque la corrosion est trop avancée. Dans ce dernier cas, la méthode par courant imposé peut s'avérer plus adaptée.
- Si un chemisage de l'élément béton est prévu en complément, l'évaluation de la performance d'un système d'anodes galvaniques peut être difficile.
- Les mortiers d'enrobage d'anodes à base de liants hydrauliques de certains des ensembles anodiques susvisés doivent satisfaire aux dispositions de la norme NF EN 1504-3 et 1504-9, en particulier en matière d'adhérence. De plus, leur résistivité doit rester comprise entre 50 % et 200 % de celle du béton de la structure. Enfin, leurs caractéristiques mécaniques doivent être voisines de celles du béton de la structure.

Le personnel concerné par un projet de protection cathodique des aciers dans le béton doit être certifié suivant les recommandations de la norme NF EN ISO 15257 (2017) qui définit les niveaux de compétence de chacun en fonction de son rôle (Bureau d'Études, Maître d'œuvre, entreprise...), compétences qui sont validées par un examen dans un centre CFPC (Centre Français de Protection Cathodique) :

Niveau 1 : Contrôleur en protection cathodique

Niveau 2 : Technicien en protection cathodique

Niveau 3 : Technicien senior en protection cathodique

Niveau 4 : Spécialiste en protection cathodique

Niveau 5 : Expert en protection cathodique

Nota : au 31/03/2021 les examens pour les niveaux 4 et 5 structures en béton armé ne sont pas encore réalisés en France.

Normes et références

NF EN ISO 12696 (2017) *Protection cathodique de l'acier dans le béton.*

NF EN ISO 15257 (2017) *Niveaux de compétence et certification du personnel en protection cathodique.*

NF A 05800 *Prestations de services en protection cathodique : engagements des prestataires de service.*

NF EN 1504-3 *définitions et exigences, maîtrise de la qualité et évaluation de la conformité : réparations structurales et non structurales.*

NF EN 1504-9 *définitions et prescriptions, maîtrise de la qualité et évaluation de la conformité : principes généraux et utilisation des produits et systèmes.*

Protection galvanique des aciers dans le béton (par anodes sacrificielles)

PROPOSITION DE PLAN DE CONTRÔLE

Phases	Points de contrôle	Moyens de contrôle
Diagnostic	Relevé des désordres : fissures, délamination, armatures apparentes, traces de corrosion	Inspection visuelle
Diagnostic	Détection des armatures, enrobage, caractérisation du ferrailage (positionnement et diamètre)	Mesure magnétique ou électromagnétique Sondage destructif complémentaire
Diagnostic	Mesure de la profondeur de carbonatation et pénétration des ions chlorures	Test à la thymol phtaléine et analyse prélèvements – tests en plusieurs profondeurs
Diagnostic	État de la corrosion des armatures	Mesure de potentiels, cartographie
Diagnostic	Mesure de la résistivité du béton	Surface sur site À cœur en laboratoire
Diagnostic	Continuité électrique des armatures et aciers avoisinants	Contrôles sur site
Dimensionnement et design	Contrôle externe	Personnel certifié selon NF EN ISO 15257 (2017)
Convenances	Confirmation des hypothèses de dimensionnement	Mesure des intensités in situ
Convenances	Confirmation des hypothèses de dimensionnement	Test de polarisation
Convenances	Confirmation des hypothèses de dimensionnement	Mesure de potentiel / cartographie
Travaux	Continuité électrique des armatures du béton	Contrôles sur site
Travaux	Contrôles préliminaires des anodes	Contrôle qualité : masses - dimensions - références - lot de fabrication
Travaux	Continuité électrique des anodes	Contrôles sur site
Travaux	Contrôles géométriques des implantations	Fiche de contrôle sur site
Travaux	Vérification des distances minimales anode/cathode et de l'absence de court-circuit	Fiche de contrôle sur site
Réception	Contrôle de la bonne mise en fonctionnement du procédé	Mesure intensité des courants
Réception	Contrôle de la bonne mise en fonctionnement du procédé	Mesure de potentiels on/off sur zones spécialement aménagées
Réception	Contrôle de la bonne mise en fonctionnement du procédé	Test de dépolarisation selon NF EN 12696 (2017)
Suivi	Contrôle du fonctionnement et de l'efficacité à moyen et long termes	Mesure intensité des courants
Suivi	Tests de dépolarisation selon NF EN 12696 (2017)	Mesure par électrodes de référence permanentes et en complément par électrode de référence portable [possibilité de cartographie des potentiels on/off]