

Réalcalinisation électrochimique et traitements d'extraction des chlorures applicables au béton armé - Partie 1: Réalcalinisation

Elektrochemische Realkalisierung und Chloridextraktionsbehandlungen für Stahlbeton - Teil 1: Realkalisierung

Electrochemical realkalization and chloride extraction treatments for reinforced concrete - Part 1: Realkalization

In der vorliegenden Schweizer Norm ist die EN 14038-1:2016 identisch abgedruckt.
Dans la présente Norme Suisse la EN 14038-1:2016 est reproduite identiquement.
In this Swiss standard EN 14038-1:2016 is reprinted identically.

Für diese Norm ist das Normen-Komitee INB/NK 179 << Metallische Ueberzüge und chemische Konversionsschichten >> des interdisziplinären Normenbereichs zuständig.

La présente norme est de la compétence du comité de normalisation INB/CN 179 << Revêtements métalliques et autres revêtements inorganiques >> du secteur interdisciplinaire de normalisation.

The standardization committee INB/NK 179 << Metallic and other inorganic coatings >> of the interdisciplinary sector is in charge of the present standard.

– Leerseite / Page blanche –

Version Française

Réalcalinisation électrochimique et traitements
d'extraction des chlorures applicables au béton armé -
Partie 1: Réalcalinisation

Elektrochemische Realkalisierung und
Chloridextraktionsbehandlungen für Stahlbeton - Teil
1: Realkalisierung

Electrochemical realkalization and chloride extraction
treatments for reinforced concrete - Part 1:
Realkalization

La présente Norme européenne a été adoptée par le CEN le 15 janvier 2016.

Les membres du CEN sont tenus de se soumettre au Règlement Intérieur du CEN/CENELEC, qui définit les conditions dans lesquelles doit être attribué, sans modification, le statut de norme nationale à la Norme européenne. Les listes mises à jour et les références bibliographiques relatives à ces normes nationales peuvent être obtenues auprès du Centre de Gestion du CEN-CENELEC ou auprès des membres du CEN.

La présente Norme européenne existe en trois versions officielles (allemand, anglais, français). Une version dans une autre langue faite par traduction sous la responsabilité d'un membre du CEN dans sa langue nationale et notifiée au Centre de Gestion du CEN-CENELEC, a le même statut que les versions officielles.

Les membres du CEN sont les organismes nationaux de normalisation des pays suivants: Allemagne, Ancienne République yougoslave de Macédoine, Autriche, Belgique, Bulgarie, Chypre, Croatie, Danemark, Espagne, Estonie, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Irlande, Islande, Italie, Lettonie, Lituanie, Luxembourg, Malte, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Portugal, République Tchèque, Roumanie, Royaume-Uni, Slovaquie, Slovénie, Suède, Suisse et Turquie.



COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION
EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION

CEN-CENELEC Management Centre: Avenue Marnix 17, B-1000 Bruxelles

Sommaire

	Page
Avant-propos européen	4
Introduction	5
1 Domaine d'application	6
2 Références normatives	6
3 Termes et définitions.....	6
4 Généralités.....	7
4.1 Systèmes de management de la qualité	7
4.2 Personnel	7
5 Principe.....	7
6 Évaluation et réparation de la structure	8
6.1 Généralités.....	8
6.2 Examen des dossiers	8
6.3 Inspection	8
6.4 Mesurage de la profondeur de carbonatation	9
6.4.1 Généralités.....	9
6.4.2 Détermination de la teneur en chlorures.....	9
6.5 Mesurages de l'enrobage et de l'emplacement des armatures.....	9
6.6 Alcali-réaction	9
6.7 Continuité et dimension des armatures	9
6.8 Réparation	10
6.8.1 Généralités.....	10
6.8.2 Élimination du béton	10
6.8.3 Préparation de l'armature.....	10
7 Matériaux et équipement.....	10
7.1 Étalonnage des instruments.....	10
7.2 Dispositif anodique	10
7.2.1 Généralités.....	10
7.2.2 Anode.....	10
7.2.3 Zone anodique.....	11
7.2.4 Solution électrolytique alcaline	11
7.3 Câbles électriques	11
7.4 Alimentation électrique.....	11
8 Méthode d'installation	12
8.1 Continuité électrique des armatures	12
8.2 Contrôle des performances	12
8.3 Installation du dispositif anodique.....	12
8.4 Protection de la solution électrolytique	12
8.5 Installation électrique	12
8.6 Essais préliminaires et documentation	13
9 Mise en service, fonctionnement et fin du traitement.....	13
9.1 Inspection visuelle.....	13

9.2	Mise sous tension et réglage du courant débité	13
9.3	Inspection de routine et maintenance	13
9.4	Contrôle du processus de réalcalinisation	14
9.5	Fin du traitement	14
10	Rapport final.....	15
11	Revêtement et contrôle post-traitement	15
	Bibliographie.....	16

Avant-propos européen

Le présent document (EN 14038-1:2016) a été élaboré par le Comité Technique CEN/TC 219 "Protection cathodique", dont le secrétariat est tenu par BSI.

Cette Norme européenne devra recevoir le statut de norme nationale, soit par publication d'un texte identique, soit par entérinement, au plus tard en **septembre 2016**, et toutes les normes nationales en contradiction devront être retirées au plus tard en **septembre 2016**.

L'attention est appelée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. Le CEN et/ou le CENELEC ne saurait [sauraient] être tenu[s] pour responsable[s] de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence.

Le présent document remplace **la** CEN/TS 14038-1:2004.

Selon le Règlement Intérieur du CEN-CENELEC les instituts de normalisation nationaux des pays suivants sont tenus de mettre cette Norme européenne en application : Allemagne, Ancienne République yougoslave de Macédoine, Autriche, Belgique, Bulgarie, Chypre, Croatie, Danemark, Espagne, Estonie, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Irlande, Islande, Italie, Lettonie, Lituanie, Luxembourg, Malte, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Portugal, République Tchèque, Roumanie, Royaume-Uni, Slovaquie, Slovénie, Suède, Suisse et Turquie.

Introduction

Le but de la réalcalinisation est d'assurer la protection à long terme contre la corrosion des armatures en acier d'un béton ayant subi une carbonatation.

Il existe d'autres procédés électrochimiques qui peuvent être utilisés pour assurer une protection contre la corrosion de l'acier présent dans les structures en béton. On peut citer la protection cathodique et l'extraction des chlorures. Une Norme européenne (EN ISO 12696) traite de la protection cathodique de l'acier dans le béton et une Spécification technique (CEN/TS 14038-2) se rapporte à l'extraction électrochimique des chlorures.

Il convient que l'exécution des dispositions de la présente norme soit confiée à des personnes compétentes et qualifiées à l'usage desquelles elle est destinée.

1 Domaine d'application

La présente Norme européenne spécifie un mode opératoire pour procéder à la réalcalinisation électrochimique (RE) par courant imposé du béton armé carbonaté dans des structures existantes. Elle est applicable à des éléments de structure exposés au milieu ambiant contenant des armatures ordinaires noyées dans le béton.

La présente Norme européenne ne s'applique ni au béton contenant des aciers de précontrainte qui peuvent subir une fragilisation due à l'hydrogène lors de la réalcalinisation, ni au béton contenant des armatures revêtues époxy ou galvanisées ; elle ne s'applique pas non plus lorsque la contamination par les chlorures contribue à la corrosion des armatures.

NOTE Dans le cas du béton précontraint par post-tension, les torons menacés peuvent être protégés par des gaines contre la polarisation indésirable et/ou excessive dans le domaine cathodique et contre la réduction de l'eau associée.

2 Références normatives

Les documents ci-après, dans leur intégralité ou non, sont des références normatives indispensables à l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

EN 1504-9, *Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton — Définitions, exigences et maîtrise de la qualité et évaluation de la conformité — Partie 9 : Principes généraux d'utilisation des produits et systèmes*

EN 14629, *Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton — Méthodes d'essais — Mesurage du taux de chlorure d'un béton durci*

EN 14630, *Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton — Méthodes d'essais — Mesurage de la profondeur de carbonatation d'un béton armé par la méthode phénolphtaléine*

CEN/TS 14038-2, *Traitements électrochimiques de réalcalinisation et d'extraction de chlorures applicables au béton armé — Partie 2 : Extraction de chlorures*

EN ISO 8044, *Corrosion des métaux et alliages — Termes principaux et définitions (ISO 8044)*

EN ISO 12696:2012, *Protection cathodique de l'acier dans le béton (ISO 12696:2012)*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'EN ISO 8044 ainsi que les suivants s'appliquent.

3.1 réalcalinisation

traitement électrochimique visant à redonner une alcalinité au béton, autour des armatures, une valeur de pH élevée correspondant à un béton sain et non carbonaté

4 Généralités

4.1 Systèmes de management de la qualité

La conception, l'installation, la mise sous tension, la mise en service et le fonctionnement à long terme de l'ensemble des éléments des systèmes de réalcalinisation électrochimique pour l'acier dans le béton doivent être entièrement documentés.

NOTE L'EN ISO 9000 constitue une norme de systèmes de management de la qualité appropriée qui peut être utilisée.

Chaque étape des travaux doit être réalisée selon un plan qualité entièrement documenté.

Chaque étape de la conception doit être vérifiée et la vérification doit être documentée.

Chaque étape de l'installation, de la mise sous tension, de la mise en service et du fonctionnement doit faire l'objet d'un contrôle visuel, mécanique et/ou électrique approprié, et tous les essais doivent être documentés.

Tous les instruments d'essai doivent être accompagnés de certificats d'étalonnage valides pouvant être reliés à un étalon national ou européen.

La documentation doit faire partie des dossiers permanents relatifs aux travaux.

4.2 Personnel

Chaque aspect de la conception, de l'installation, de l'essai de l'installation, de la mise sous tension, de la mise en service et du contrôle opérationnel à long terme du système de réalcalinisation électrochimique doit être placé sous la supervision d'une personne ayant la qualification, la formation, l'expertise et l'expérience requises pour l'étape spécifique des travaux dont elle est responsable.

NOTE La réalcalinisation électrochimique de l'acier dans le béton est une activité multidisciplinaire spécialisée. Une expertise est requise dans les domaines de l'électrochimie, de la technologie du béton, du génie civil et/ou de l'ingénierie des structures, ainsi qu'en ingénierie de protection cathodique.

Le personnel chargé de la conception, de la supervision de l'installation, de la mise en service, de la supervision du fonctionnement, des mesurages, du contrôle et de la supervision de la maintenance des systèmes de protection cathodique doit avoir un niveau de compétence approprié pour les tâches à accomplir. L'EN 15257 constitue une méthode adaptée d'évaluation des compétences du personnel de protection cathodique qui peut être utilisée aussi bien pour la réalcalinisation électrochimique que pour la protection cathodique.

Il convient que la compétence du personnel pour le niveau approprié de tâches à accomplir soit démontrée par une certification conformément à l'EN 15257 et par une expérience adéquate en matière de réalcalinisation électrochimique ou par toute autre procédure de pré-qualification équivalente.

5 Principe

La réalcalinisation du béton armé est réalisée en créant un champ électrique, pendant une durée limitée, entre l'armature d'acier noyée dans le béton et une anode provisoire noyée dans une solution électrolytique alcaline contenant des ions carbonate ou hydroxyle placés temporairement à la surface du béton.

NOTE 1 La zone carbonatée traitée par réalcalinisation est située directement sous l'anode et autour de la première couche d'armature.

NOTE 2 Des précisions quant au principe de ce mode opératoire sont données dans le rapport de la Fédération Européenne de Corrosion [1] et dans le rapport LCP [7].

Des solutions électrolytiques de sels de sodium, de potassium et de lithium peuvent être utilisées.

6 Évaluation et réparation de la structure

6.1 Généralités

Avant de procéder à la réalcalinisation, une évaluation de la structure, y compris son état physique, son intégrité structurelle et la nature et l'étendue de toute réparation éventuellement nécessaire, doit être réalisée conformément à l'EN 1504-9.

Les contrôles spécifiés de 6.2 à 6.8 doivent être réalisés afin de :

- a) déterminer l'aptitude de la structure à la réalcalinisation ;
- b) fournir des informations pour la conception.

6.2 Examen des dossiers

Tous les plans, spécifications, enregistrements et notes disponibles doivent être examinés pour obtenir des informations sur l'emplacement, la quantité, la nature (par exemple acier doux ou à haute résistance, barre d'armature lisse ou à haute adhérence, galvanisée ou revêtue époxy) et la continuité des armatures ainsi que les constituants et la qualité du béton.

Dans le cas d'une armature lisse, il convient d'évaluer toute sensibilité à une diminution de l'adhérence.

6.3 Inspection

Une inspection doit être réalisée afin de déterminer le type, les causes et l'étendue des défauts et d'établir avec précision toute caractéristique de la structure ou de son environnement immédiat susceptible d'avoir une incidence sur l'application et l'efficacité de la réalcalinisation. Toutes les zones de la structure qui requièrent une réalcalinisation doivent être vérifiées en vue de rechercher des traces de délamination de l'enrobage. Les défauts tels que délamination, fissures, faïençage en nid d'abeille ou joints de construction défectueux qui pourraient permettre d'importantes infiltrations d'eau ou empêcher le passage du courant, compromettant ainsi l'efficacité du traitement de réalcalinisation, doivent être consignés.

Pour les zones qui ont fait l'objet d'une réparation antérieure, il convient d'identifier dans la mesure du possible les méthodes et les matériaux de réparation utilisés. Si le béton situé sous la réparation doit être réalcalinisé, il convient de déterminer la résistivité électrique et la porosité du matériau utilisé pour la réparation.

La cause de toute détérioration qui n'est pas attribuable à la corrosion de l'armature doit être déterminée.

Si des signes quelconques d'effondrement structurel sont manifestes, il convient de procéder à une évaluation de la résistance résiduelle de la structure et de la nécessité de mettre en place des renforts ou des supports temporaires ou permanents.

6.4 Mesurage de la profondeur de carbonatation

6.4.1 Généralités

La profondeur de carbonatation doit être mesurée conformément à l'EN 14630 en plusieurs emplacements pour vérifier sa répartition.

NOTE Dans le choix des emplacements où sera opéré l'échantillonnage du béton, l'objectif est d'identifier des zones ayant des profondeurs de carbonatation différentes pour pouvoir les comparer avec celles obtenues après traitement.

6.4.2 Détermination de la teneur en chlorures

La teneur en chlorures du béton doit être déterminée en pourcentage de la masse de ciment ou de béton conformément à l'EN 14629.

Les échantillons de béton doivent être prélevés dans des zones susceptibles d'avoir la plus forte teneur en chlorures afin de vérifier la présence de contamination par les chlorures.

Si la contamination par les chlorures se révèle être une cause de corrosion des armatures, un traitement adapté doit être déterminé conformément à l'EN 1504-9, l'EN ISO 12696 ou la CEN/TS 14038-2.

6.5 Mesurages de l'enrobage et de l'emplacement des armatures

Les enrobages et l'emplacement des armatures doivent être déterminés afin de pouvoir comparer l'intensité du courant circulant avec l'épaisseur de l'enrobage, et afin d'identifier les zones où la densité d'armature varie. Toute particularité susceptible de compromettre l'efficacité de la réalcalinisation, par exemple la présence d'effets d'écran dus à un treillis métallique noyé, à des fibres métalliques, à des plaques métalliques, à des feuilles en plastique ou à des matériaux de réparation non conducteurs, doit être identifiée. Les emplacements où des courts-circuits peuvent se produire entre l'acier de l'armature et les anodes doivent être consignés.

6.6 Alkali-réaction

Si le béton de la structure qui doit être réalcalinisé contient des granulats susceptibles d'être sensibles aux alcalis, le risque de provoquer un phénomène d'alkali-réaction doit être étudié avant de procéder à tout traitement.

NOTE À la date de publication de la présente Norme européenne, aucun cas de phénomène d'alkali-réaction induit par la réalcalinisation n'a été signalé.

6.7 Continuité et dimension des armatures

La continuité des armatures doit être vérifiée sur le site en mesurant la résistance électrique entre les barres d'armature en différents emplacements de la structure suffisamment distants les uns des autres et entre toutes les barres d'armature dégagées durant les réparations du béton (voir 6.8.3) ou d'autres travaux exécutés selon la méthode et les critères d'acceptation indiqués dans l'EN ISO 12696:2012, 7.1. Ces mesures doivent porter sur :

- a) la continuité entre les éléments de la structure dans chaque zone de réalcalinisation ;
- b) la continuité entre les éléments métalliques, autres que les armatures, et les armatures elles-mêmes.

Le diamètre de l'armature doit être identifié à partir de plans, s'il y en a, et doit être vérifié par des mesures directes.

6.8 Réparation

6.8.1 Généralités

Toutes les opérations de réparation doivent être exécutées conformément à l'EN 1504-9, sauf indication contraire en 6.8.2 et 6.8.3.

6.8.2 Élimination du béton

Le béton délaminé ou présentant l'aspect d'un faïençage en nid d'abeille ainsi que les matériaux de réparation ayant un niveau de résistivité électrique trop élevé (> 200 % de la résistivité du béton d'origine) et/ou contenant d'autres matériaux susceptibles de compromettre les effets de la réalcalinisation doivent tous être éliminés pour obtenir une surface de béton propre, physiquement saine. Tous les fils d'attache, clous ou autres composants métalliques présents à la surface du béton et touchant l'armature doivent être sectionnés ou être isolés électriquement.

6.8.3 Préparation de l'armature

Sur les armatures dégagées, les écailles de calamine et la couche d'oxyde non adhérentes doivent être éliminées afin d'assurer un bon contact entre l'acier et le matériau de réparation.

NOTE Il n'est pas nécessaire de nettoyer l'armature jusqu'à obtenir un métal nu.

Les primaires ou les revêtements ainsi que les adhésifs isolants ou résistifs ne doivent pas être appliqués sur l'acier.

Il convient de réaliser l'évaluation de la continuité, la mise en place et le raccordement de tous les éléments de connexion aux armatures, seulement après la préparation des armatures.

7 Matériaux et équipement

7.1 Étalonnage des instruments

Tous les instruments utilisés pour effectuer les mesurages spécifiés aux Articles 6, 8 et 9 doivent être accompagnés de certificats d'étalonnage valides pouvant être reliés à un étalon national ou européen.

7.2 Dispositif anodique

7.2.1 Généralités

Le dispositif anodique doit être constitué d'une anode noyée dans une solution électrolytique alcaline ou entourée d'un matériau de rétention de liquide approprié saturé en électrolyte alcalin placé sur la surface du béton.

7.2.2 Anode

L'anode doit être capable de permettre le passage et de répartir le courant nécessaire pour le traitement de réalcalinisation.

7.2.3 Zone anodique

Il convient que chaque zone anodique soit conçue pour fournir à l'acier de l'armature une densité de courant uniforme. La dimension d'une zone anodique ne dépasse pas généralement une surface de béton de 50 m² ou un courant débité ne dépassant pas 2 A/m² de surface métallique.

NOTE 1 Une zone anodique ne dépasse généralement pas une surface de béton de 50 m² ou un courant débité de 100 A.

NOTE 2 Cette zone est également désignée dans le reste du texte sous le nom de «zone de réalcalinisation».

7.2.4 Solution électrolytique alcaline

La solution électrolytique alcaline doit être capable :

- a) de permettre le passage du courant entre l'anode et l'armature d'acier ; et
- b) d'alcaliniser le béton carbonaté.

NOTE Les électrolytes adaptés incluent les solutions 1 M de carbonate de sodium, de carbonate de potassium et d'hydroxyde de lithium.

Selon la loi de l'électrolyse de Faraday, le processus RE génèrera un maximum de 0,89 moles d'acide (H⁺) par amp.jour (1 mole tous les 27 A.heures). Il convient de calculer la concentration initiale de l'électrolyte et l'ajout ultérieur d'alcali en utilisant cette relation.

Le pH de l'électrolyte doit être déterminé à l'aide d'un pH-mètre portatif ou d'une autre méthode d'essai appropriée.

Les fixations et les raccords dans le béton entourant la zone de traitement peuvent être attaqués par les solutions électrolytiques alcalines ou acides ; il convient de les protéger contre toutes fuites.

7.3 Câbles électriques

Tous les câbles doivent être isolés.

Tous les câbles doivent être identifiés individuellement par leur couleur d'isolant et par un numéro de zone. Le code couleur suivant doit être utilisé :

- a) câbles reliés aux anodes (positifs) : rouge (au moins au niveau des pièces de jonction) ;
- b) câbles reliés aux armatures (négatifs) : noir (au moins au niveau des pièces de jonction).

Les câbles doivent être dimensionnés de façon à :

- 1) transmettre le courant défini par l'étude augmenté de 25 % dans la plage de température admissible selon les Normes nationales ou européennes ;
- 2) avoir une résistance mécanique adéquate.

7.4 Alimentation électrique

L'alimentation électrique fournissant le courant imposé doit être limitée à un courant continu de 42 V avec un taux d'ondulation efficace inférieur ou égal à 100 mV RMS, à une fréquence minimale de 100 Hz, ou telle que requise par la réglementation électrique nationale en vigueur pour les très basses tensions.

NOTE Il s'est avéré que l'utilisation de systèmes RE à des tensions constantes inférieures à 30 V c.c. pouvait conduire à des temps de traitement plus longs et des traitements moins efficaces.

La source de courant alternatif et le câblage associé, et les circuits de courant continu, doivent être conformes aux exigences des normes de sécurité électrique nationales ou européennes applicables.

Tous les fusibles doivent être étiquetés avec la désignation du circuit et les caractéristiques des fusibles.

Toutes les bornes de sortie doivent être entièrement isolées de tout élément métallique contenu dans le boîtier. Les bornes doivent être clairement marquées «+ ANODE» et «- ARMATURE».

Le transformateur-redresseur doit pouvoir supporter des courts-circuits continus et être adapté à l'environnement dans lequel il est destiné à fonctionner.

8 Méthode d'installation

8.1 Continuité électrique des armatures

La continuité électrique des armatures doit être vérifiée selon 6.7 avant d'appliquer le traitement de réalcalinisation.

Chaque zone à réalcaliniser doit être dotée de points de connexions multiples reliés à l'acier de l'armature.

NOTE Une fréquence pratique déterminée pour les besoins de la conception est de 1 connexion tous les 25 m² de surface d'acier ou tous les 50 m² de surface de béton.

8.2 Contrôle des performances

Dans chaque zone anodique à réalcaliniser, l'anode doit être dotée des moyens nécessaires pour contrôler la charge totale en ampères-heure (A·h) et la durée du traitement.

8.3 Installation du dispositif anodique

Avant la mise en place du dispositif anodique, les surfaces de béton doivent être exemptes de contaminants diélectriques.

Un soin particulier doit être apporté pour éviter les courts-circuits entre les anodes et tout élément métallique à la surface du béton.

Dans chaque zone à réalcaliniser, l'anode doit être dotée de connexions multiples.

NOTE Une fréquence pratique déterminée pour la conception de ces zones est de 5 connexions tous les 25 m² d'anode Ti-MMO et au maximum 5 A avec un câble de 2 mm² de section.

8.4 Protection de la solution électrolytique

La solution électrolytique doit être protégée contre les variations climatiques (par exemple, soleil, pluie, vent, gel).

8.5 Installation électrique

L'installation électrique doit être réalisée conformément aux normes de sécurité électrique nationales ou européennes applicables.

8.6 Essais préliminaires et documentation

Avant la mise en service de l'installation, des essais préliminaires doivent être réalisés et les résultats obtenus doivent être documentés.

Des contrôles de la polarité doivent être réalisés sur tous les circuits.

La continuité électrique doit être vérifiée en mesurant les résistances sur toutes les connexions d'anode et toutes les connexions de cathode dans chaque zone de traitement.

L'isolation doit être vérifiée sur tous les circuits afin de contrôler que les circuits positifs sont bien isolés des circuits négatifs, ainsi que des pièces métalliques éventuellement présentes sur la surface de béton ou adjacentes à celle-ci (par exemple, les échafaudages).

Après avoir appliqué la solution électrolytique, la résistance de l'anode et de la cathode ainsi que le potentiel doivent être mesurés pour chaque zone de réalcalinisation afin de détecter les courts-circuits qui doivent être réparés avant de mettre le système sous tension.

9 Mise en service, fonctionnement et fin du traitement

9.1 Inspection visuelle

Avant d'activer le dispositif de réalcalinisation, celui-ci ainsi que toutes les pièces constitutives doivent être soumis à une inspection visuelle complète afin de vérifier que tous les composants et les câbles sont correctement installés, étiquetés et protégés contre tout dommage environnemental ou causé par l'homme et les animaux.

9.2 Mise sous tension et réglage du courant débité

La mise sous tension ne doit intervenir qu'après les essais préliminaires conformément à 8.6 et l'inspection visuelle conformément à 9.1.

Le système doit au départ être mis sous tension à un faible niveau. Tous les circuits électriques et toutes les zones doivent être contrôlés afin de s'assurer du bon sens de polarité, du bon fonctionnement des alimentations électriques et des systèmes de contrôle.

La densité de courant de réalcalinisation ne doit pas dépasser 2 A/m² de surface d'armature.

La charge doit être maintenue durant au moins 200 h.

9.3 Inspection de routine et maintenance

Une inspection de routine doit être effectuée au moins une fois par jour. Les contrôles suivants doivent être réalisés et les données correspondantes consignées :

- a) confirmation que toutes les zones de réalcalinisation fonctionnent ;
- b) confirmation que le système de contrôle du courant et de la durée (A·h) spécifié en 9.4 fonctionne correctement pour contrôler toutes les zones réalcalinisées ;
- c) mesurage de la tension délivrée à chaque zone de réalcalinisation ;
- d) contrôle visuel de l'isolation des câbles et des connexions d'anode, afin de confirmer qu'ils assurent correctement leurs fonctions ;

- e) contrôle de la solution électrolytique et de son alimentation afin de s'assurer que toutes les zones de réalcalinisation sont entièrement en contact avec la solution électrolytique ou avec le réservoir électrolytique.

9.4 Contrôle du processus de réalcalinisation

Dans chaque zone du traitement de réalcalinisation, le courant et le temps de décharge de courant doivent être mesurés et enregistrés à des intervalles appropriés.

NOTE Pour les systèmes automatisés, il est recommandé d'utiliser un intervalle de contrôle ne dépassant pas 2 h ou de réaliser un mesurage en continu à l'aide d'un compteur permettant de connaître les A·h débités ou à l'aide de dispositifs d'enregistrement contrôlés par ordinateur.

9.5 Fin du traitement

Le traitement de réalcalinisation peut être interrompu, dans la plupart des cas, lorsque la surface d'armature a été soumise à une charge totale de 200 A·h/m². L'efficacité du procédé de réalcalinisation doit être démontrée en réalisant des essais de pH à la phénolphthaléine dans chaque zone anodique.

NOTE Lors des essais de pH à la phénolphthaléine, l'étendue de la réalcalinisation est indiquée par une coloration rose autour de l'armature qui doit atteindre au moins 10 mm ou le diamètre de la barre (la plus petite des deux valeurs).

La phénolphthaléine change de couleur à pH 10. Une coloration rose est en principe observée. D'autres indicateurs, tels que la thymolphthaléine qui change de couleur à pH 11, peuvent être utilisés mais le changement de couleur peut être plus difficile à observer sur le béton.

L'EN 14630 doit être utilisée pour les essais avec la phénolphthaléine.

La surface des armatures d'acier, qui doit être soumise à une charge de 200 A·h/m², doit comprendre toutes les armatures situées le plus près de la surface soumise au traitement, mais le courant déchargé vers d'autres armatures doit être pris en considération.

Si l'étendue de la carbonatation dépasse les armatures situées le plus près de la surface, toutes les armatures situées à l'intérieur des zones de carbonatation doivent être intégrées dans le calcul.

La prise en considération des décharges de courant vers d'autres armatures peut se faire par le calcul de toutes les surfaces des armatures situées sur une profondeur donnée de béton, généralement 200 mm, qui en général reçoivent toutes une charge de 200 A·h/m². Une alternative pourrait être de prendre en considération la surface des armatures situées dans des couches plus profondes et de supposer que la deuxième couche d'armatures et les couches suivantes reçoivent un pourcentage moins élevé de la densité de courant reçue par la couche d'armature située au-dessus. Voir la référence [6] pour plus d'informations sur la distribution du courant dans les nappes d'armature inférieures.

Dans le cas d'une armature pré-corrodée, une charge beaucoup plus importante peut être nécessaire pour produire un effet de réalcalinisation durable dans le béton environnant. Une plus grande quantité de charge appliquée est alors nécessaire pour infiltrer ou dissoudre les produits de corrosion avant que la réduction de l'oxygène ne devienne la principale réaction cathodique. Théoriquement, plus de 300 A·h/m² sont nécessaires pour réduire les oxydes sur une surface d'acier corrodée lorsque l'enrobage n'est pas endommagé. Cependant, une charge largement inférieure à 100 A·h/m² peut être suffisante dans les zones présentant une armature non corrodée.

10 Rapport final

Une fois l'opération de réalcalinisation terminée, un rapport final doit être rédigé. Il doit comporter les informations suivantes :

- a) une description générale de la structure, de son emplacement et de son état physique ;
- b) une description du béton (le type de ciment, le type de granulats, la composition du béton si elle est connue, la teneur du profil en chlorures...) ;
- c) des précisions relatives aux organismes impliqués dans les travaux de remise en état (par exemple, client, ingénieur d'études, ingénieur responsable, entrepreneur, sous-traitants) en indiquant leurs responsabilités respectives ;
- d) une description de la conception du traitement de réalcalinisation, y compris :
 - 1) le calcul de la surface des armatures, afin de démontrer la conformité aux exigences en 9.5 ;
 - 2) une copie du descriptif des travaux avec la définition des critères d'acceptation ; et
 - 3) les matériaux utilisés pour le processus de réalcalinisation (matériau de l'anode et composition chimique de l'électrolyte) ;
 - 4) les plans utilisés pour l'installation et la mise sous tension du système, en indiquant les variations et les dates clés ;
- e) une description de la préparation précédant le traitement, y compris la préparation de la surface, les réparations, les essais de continuité des armatures et les emplacements choisis pour l'échantillonnage du béton ;
- f) les données de surveillance du procédé : des enregistrements de la charge en A-h pour chaque zone et toute autre valeur du courant et de la tension enregistrée au cours du traitement, tel que spécifié en 9.3 et en 9.4 ;
- g) l'analyse des résultats, y compris celle des anomalies ou variations locales enregistrées, accompagnée d'un état relatif à l'efficacité du traitement ;
- h) les autres documents pertinents.

11 Revêtement et contrôle post-traitement

Lorsque cela est exigé, un revêtement esthétique ou de protection doit être appliqué sur le béton réalcalinisé.

Il convient d'être prudent lors du choix et de l'application du revêtement car le traitement peut conduire à une surface très humide, à un pH élevé qui dépend du dispositif anodique utilisé.

S'il y a lieu, des dispositifs doivent être installés pour assurer un contrôle post-traitement de l'efficacité du traitement.

NOTE Plusieurs dispositifs appropriés existent. Par exemple, le potentiel et la vitesse de corrosion peuvent être mesurés à l'aide de sondes noyées dans le béton.

Bibliographie

- [1] MIETZ, J ed. *Electrochemical rehabilitation methods for reinforced concrete structures — A state of the art report*. European Federation of Corrosion, Publication 24. IOM Communications Ltd, London, 1998.
- [2] HONDEL, A. W. M. van den and POLDER R. B., Laboratory investigation of electrochemical realkalisation of concrete. *Eurocorr '98*, Working Party 11, Reinforcement Corrosion, Utrecht, NL, 1998. European Federation of Corrosion.
- [3] POLLET, V. 2000, *COST 521 project reports B-2*. Office for Official Publications of the European Communities, 1999.
- [4] GRANTHAM, M., ed. *Concrete Repair – A practical guide*. Taylor & Francis, 2011
- [5] NACE SP 0107-2007 Electrochemical Realkalization and chloride extraction for Reinforced Concrete NACE International Houston TX, USA, 2007
- [6] HASSANEIN, A. M., GLASS, G. K., and BUENFELD N.R. *Protection current distribution in reinforced concrete cathodic protection systems*. Cement & Concrete Composites 24. 2002; 24:159–167.
- [7] TONG Y., BOUTEILLER V., MARIE-VICTOIRE E., JOIRET S., *Traitement électrochimique de réalcalinisation pour la réparation du béton armé dégradé par carbonatation*, Series Editor: C. E. e. R. d. LPC Série Ouvrage d'Art N°66, 2010
- [8] EN 15257, *Protection cathodique — Niveaux de compétence et certification du personnel en protection cathodique*