

# Réalcalinisation électrochimique et traitements d-extraction des chlorures applicables au béton armé - Partie 2 : Extraction des chlorures

## Elektrochemische Realkalisierung und Chloridextraktionsbehandlungen für Stahlbeton - Teil 2: Chloridextraktion

## Electrochemical realkalization and chloride extraction treatments for reinforced concrete - Part 2: Chloride extraction

Dans la présente norme Suisse le EN 14038-2:2020 est reproduit identiquement.  
In der vorliegenden Schweizer Norm ist die EN 14038-2:2020 identisch abgedruckt.  
In this Swiss standard EN 14038-2:2020 is reprinted identically.

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

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

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

Ref Nr. / No. de réf / No ref.	Herausgeber / Editeur / Editor	Vertrieb / Distribution	Anzahl Seiten / Nombre de pages / Number of pages
SN EN 14038-2:2021 fr	Schweizerische Normen-Vereinigung (SNV) Sulzerallee 70 CH-8404 Winterthur © SNV	Schweizerische Normen-Vereinigung (SNV) Sulzerallee 70 CH-8404 Winterthur	22 (Total) 20 (EN/ISO)
Gültig ab / Valide de / Valid from			Preisklasse / Classe de prix / Price class
2021-02-01			0011 SNV

**Avis de copyright**

Tous droits réservés; la reproduction, la diffusion et l'enregistrement sur ou depuis d'autres médias ou supports ne sont permis que sur autorisation expresse de la SNV.

©SNV 2021

Schweizerische Normen-Vereinigung (SNV)  
Association Suisse de Normalisation (SNV)  
Swiss Association for Standardization (SNV)  
Sulzerallee 70  
CH-8404 Winterthur  
Tel: +41 52 224 54 54  
Fax: +41 52 224 54 74  
E-mail: shop@snv.ch  
[www.snv.ch](http://www.snv.ch)

**Norme (Norme Suisse SN)**

Publication normative élaborée par des spécialistes suivant une procédure internationale reconnue.

**Règle (Règle Suisse SNR)**

Publication à caractère normatif élaborée par des spécialistes moyennant une enquête publique facultative ou restreinte. La durée de validité des règles suisses est limitée.

**Guide (Guide Suisse SNG)**

Publication à caractère non normatif destinée à renseigner sur l'élaboration et l'utilisation de normes et de règles.

**Exclusion de responsabilité**

L'éditeur décline toute responsabilité pour des dommages pouvant résulter de l'utilisation des présentes publications.

NORME EUROPÉENNE

EN 14038-2

EUROPÄISCHE NORM

EUROPEAN STANDARD

Octobre 2020

ICS 91.100.30

Remplace l' CEN/TS 14038-2:2011

Version Française

## Réalcalinisation électrochimique et traitements d'extraction des chlorures applicables au béton armé - Partie 2 : Extraction des chlorures

Elektrochemische Realkalisierung und  
Chloridextraktionsbehandlungen für Stahlbeton –  
Teil 2: Chloridextraktion

Electrochemical realkalization and chloride extraction  
treatments for reinforced concrete - Part 2: Chloride  
extraction

La présente Norme européenne a été adoptée par le CEN le 14 septembre 2020.

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, 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 de Macédoine du Nord, République de Serbie, 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: Rue de la Science 23, B-1040 Bruxelles**

© 2020 CEN Tous droits d'exploitation sous quelque forme et de quelque manière que ce soit réservés dans le monde entier aux membres nationaux du CEN.

Réf. n° EN 14038-2:2020 F

## Sommaire

	Page
<b>Avant-propos européen .....</b>	<b>4</b>
<b>Introduction .....</b>	<b>5</b>
<b>1 Domaine d'application .....</b>	<b>6</b>
<b>2 Références normatives .....</b>	<b>6</b>
<b>3 Termes et définitions.....</b>	<b>6</b>
<b>4 Principe.....</b>	<b>7</b>
<b>5 Généralités.....</b>	<b>7</b>
<b>5.1 Systèmes de management de la qualité .....</b>	<b>7</b>
<b>5.2 Personnel .....</b>	<b>8</b>
<b>6 Évaluation et réparation de la structure .....</b>	<b>8</b>
<b>6.1 Généralités.....</b>	<b>8</b>
<b>6.2 Examen des dossiers .....</b>	<b>8</b>
<b>6.3 Inspection .....</b>	<b>9</b>
<b>6.4 Évaluation de l'activité de corrosion.....</b>	<b>9</b>
<b>6.5 Détermination de la teneur en chlorures.....</b>	<b>9</b>
<b>6.6 Inspection visuelle de la surface des barres d'armature et mesurage de la profondeur de carbonatation .....</b>	<b>10</b>
<b>6.7 Mesurages de l'enrobage et de l'emplacement des armatures.....</b>	<b>10</b>
<b>6.8 Alkali-réaction .....</b>	<b>10</b>
<b>6.9 Continuité et dimensions des armatures .....</b>	<b>10</b>
<b>6.10 Réparation .....</b>	<b>11</b>
<b>6.10.1 Généralités.....</b>	<b>11</b>
<b>6.10.2 Élimination du béton .....</b>	<b>11</b>
<b>6.10.3 Préparation de l'armature .....</b>	<b>11</b>
<b>7 Matériaux et équipement.....</b>	<b>11</b>
<b>7.1 Étalonnage des instruments.....</b>	<b>11</b>
<b>7.2 Dispositif anodique .....</b>	<b>11</b>
<b>7.2.1 Généralités.....</b>	<b>11</b>
<b>7.2.2 Anode.....</b>	<b>11</b>
<b>7.2.3 Zone anodique.....</b>	<b>12</b>
<b>7.2.4 Solution électrolytique alcaline.....</b>	<b>12</b>
<b>7.3 Câbles électriques .....</b>	<b>12</b>
<b>7.4 Alimentation électrique.....</b>	<b>13</b>
<b>8 Méthode d'installation .....</b>	<b>13</b>
<b>8.1 Continuité électrique .....</b>	<b>13</b>
<b>8.2 Autres éléments métalliques dans la zone de traitement.....</b>	<b>13</b>
<b>8.3 Contrôle des performances .....</b>	<b>13</b>
<b>8.4 Installation du dispositif anodique.....</b>	<b>14</b>
<b>8.5 Protection de la solution électrolytique .....</b>	<b>14</b>
<b>8.6 Installation électrique .....</b>	<b>14</b>
<b>8.7 Essais préliminaires et documentation .....</b>	<b>14</b>

<b>9</b>	<b>Mise en service, fonctionnement et fin du traitement .....</b>	<b>14</b>
<b>9.1</b>	<b>Inspection visuelle .....</b>	<b>14</b>
<b>9.2</b>	<b>Mesures de sécurité .....</b>	<b>14</b>
<b>9.3</b>	<b>Mise sous tension et réglage du courant débité .....</b>	<b>15</b>
<b>9.4</b>	<b>Inspection de routine et maintenance .....</b>	<b>15</b>
<b>9.5</b>	<b>Contrôle du processus d'extraction des chlorures .....</b>	<b>15</b>
<b>9.6</b>	<b>Fin du traitement .....</b>	<b>16</b>
<b>10</b>	<b>Rapport final.....</b>	<b>17</b>
<b>11</b>	<b>Revêtement et contrôle post-traitement .....</b>	<b>18</b>
	<b>Bibliographie.....</b>	<b>19</b>

## Avant-propos européen

Le présent document (EN 14038-2:2020) 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 avril 2021, et toutes les normes nationales en contradiction devront être retirées au plus tard en avril 2021.

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 ne saurait être tenu pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence.

Le présent document remplace la CEN/TS 14038-2:2011.

L'EN 14038, *Réalcalinisation électrochimique et traitements d'extraction des chlorures applicables au béton armé*, est actuellement composée des deux parties suivantes :

- Partie 1 : Réalcalinisation ;
- Partie 2 : Extraction des chlorures.

Par rapport à la CEN/TC 14038-2:2011, les modifications suivantes ont été introduites :

- a) l'Article 2 « *Références normatives* » a été révisé ;
- b) l'Article 4 « *Principe* » et l'Article 6 « *Évaluation et réparation de la structure* » ont été révisés ;
- c) 7.2.2 « *Anode* » a été complété d'exigences pour les anodes utilisées ;
- d) des exigences relatives aux zones anodiques ont été ajoutées à 7.2.3 « *Zone anodique* » ;
- e) une note a été ajoutée à 7.4 « *Alimentation électrique* » ;
- f) l'Article 8 « *Méthode d'installation* » a été révisé ;
- g) l'Article 9 « *Mise en service, fonctionnement et fin du traitement* » a été révisé, en particulier 9.6 « *Fin du traitement* » ;
- h) l'Article 10 « *Rapport final* » et l'Article 11 « *Revêtement et contrôle post-traitement* » ont été révisés ;
- i) la bibliographie a été complété de plusieurs publications ;
- j) le document a fait l'objet d'une révision rédactionnelle.

Selon les règlements internes du CEN-CENELEC, les organisations nationales de normalisation des États suivants sont tenus d'appliquer la présente Norme européenne : Allemagne, Autriche, Belgique, Bulgarie, Croatie, Chypre, Danemark, Espagne, Estonie, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Islande, Irlande, Italie, Lettonie, Lituanie, Luxembourg, Malte, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Portugal, République de Macédoine du Nord, République Tchèque, Roumanie, Royaume-Uni, Serbie, Slovaquie, Slovénie, Suède, Suisse et Turquie.

## Introduction

Le but de l'extraction des chlorures est de restaurer une structure en béton armé ayant subi une activité de corrosion et d'assurer une protection contre la corrosion, à long terme, des armatures en acier d'un béton qui a été affecté par les chlorures. La durée du traitement va de quelques semaines à plusieurs mois, selon la quantité et la profondeur de pénétration des chlorures accumulés, la perméabilité du béton, la disposition des armatures et d'autres facteurs.

NOTE L'expérience apprend que dans le cas d'une épaisseur d'enrobage de 30 mm à 40 mm et d'une concentration en chlorures dans l'enrobage, une extraction électrochimique des chlorures peut produire des résultats acceptables en un traitement à une seule étape de 4 à 6 semaines.

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 la réalcalinisation. Des normes européennes traitent de la protection cathodique de l'acier dans le béton (EN ISO 12696) et de la réalcalinisation du béton ayant subi une carbonatation (EN 14038-1).

Lors de la rédaction de la présente norme, il a été supposé que la conception et l'utilisation d'une application d'extraction des chlorures serait confiée à des personnes dûment qualifiées, compétentes et expérimentées, à l'usage desquelles elle est destinée.

## 1 Domaine d'application

Le présent document spécifie une procédure d'extraction électrochimique par courant imposé des chlorures contenus dans des bétons d'ouvrages existants. Il est applicable à des éléments de structure exposés au milieu ambiant contenant des armatures ordinaires et/ou à des gaines de câbles de post-tension noyées dans le béton. Dans le dernier cas, il est essentiel de vérifier qu'il n'y a pas de risque de fragilisation due à l'hydrogène, en réalisant si nécessaire des essais et en assurant une surveillance pendant le traitement.

Le présent document ne s'applique ni au béton contenant des aciers de précontrainte qui peuvent subir une fragilisation par l'hydrogène lors de l'extraction des chlorures, ni au béton contenant des armatures revêtues ou galvanisées.

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 suivants cités dans le texte constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences 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 1504-2, *Produits et systèmes pour la protection et la réparation de structures en béton — Définitions, prescriptions, maîtrise de la qualité et évaluation de la conformité — Partie 2 : Systèmes de protection de surface pour le béton*

EN 1504-9, *Produits et systèmes pour la protection et la réparation de structures en béton — Définitions, prescriptions, 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'essai — Mesurage de la profondeur de carbonatation d'un béton armé par la méthode phénolphtaléine*

EN ISO 8044, *Corrosion des métaux et alliages — Vocabulaire (ISO 8044)*

EN ISO 12696:2016, *Protection cathodique de l'acier dans le béton (ISO 12696:2016)*

## 3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'EN ISO 8044 et l'EN 1504-2 ainsi que les suivants s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes :

- ISO Online browsing platform : disponible à l'adresse <https://www.iso.org/obp>
- Electropedia IEC : disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>

### 3.1 extraction des chlorures

traitement électrochimique visant à réduire la teneur en chlorures et à donner au béton, autour des armatures, une valeur de pH élevée correspondant à un béton sain, carbonaté ou non carbonaté

## 4 Principe

L'extraction électrochimique des chlorures (EEC) du béton armé est réalisée en créant un champ électrique entre l'armature d'acier noyée dans le béton et une anode noyée dans une solution électrolytique alcaline. Les anodes sont placées temporairement à la surface du béton. Les ions dissous chargés négativement, tels que le chlorure, se déplaceront de l'armature vers l'électrode externe. Ce processus physique est contrôlé par la tension appliquée.

Parallèlement, les réactions électrochimiques se produisant à la surface de l'acier produisent des ions hydroxyle par réduction de l'oxygène et de l'eau. Ce processus alcalinise le béton au voisinage de la barre d'armature, comme décrit dans l'EN 14038-1, et est en corrélation avec le courant qui circule.

La teneur en chlorures ne sera pas réduite à zéro ; la teneur cible habituelle est un profil moyen de 0,4 %, par rapport à la masse de ciment. Pour l'atteindre, il convient de régler la tension appliquée entre l'armature et l'anode externe à une valeur aussi élevée que possible, mais sans sortir des limites de sécurité.

NOTE 1 L'effet de l'extraction des chlorures ne se limite pas à la zone comprise entre la surface du béton et la couche d'armature la plus proche, mais peut atteindre de plus grandes profondeurs de béton, tant qu'une armature est présente et connectée à la couche d'armature supérieure. Dans un tel cas, un traitement en plusieurs étapes est nécessaire. Des traitements sur la face opposée d'une dalle de béton sont possibles, mais nécessiteront une durée d'application plus longue.

Si la surface de l'armature est recouverte de produits de corrosion, ces oxydes devront être réduits avant la réduction éventuelle de l'oxygène et de l'eau. Pendant cette période qui peut théoriquement consommer jusqu'à 700 Ah/m<sup>2</sup>, peu d'ions hydroxyle, voire aucun, peuvent être générés. Dans ce cas, le dégagement de dihydrogène est improbable et de forts courants initiaux peuvent être tolérés.

NOTE 2 Des précisions quant aux principes de ce mode opératoire sont données dans le rapport de la Fédération Européenne de Corrosion [1] et dans une publication plus récente [2]. Des études de recherche fondamentale sur l'EEC ont fait l'objet des publications [5] à [8].

NOTE 3 Certains électrolytes peuvent modifier l'aspect de surface du béton.

## 5 Généralités

### 5.1 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 d'extraction électrochimique des chlorures dans le béton armé doivent être entièrement documentés.

NOTE L'EN ISO 9000 est une norme relative aux systèmes de management de la qualité adaptée et 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 en cours de validité pouvant être reliés à un étalon national ou européen.

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

## 5.2 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 d'extraction électrochimique des chlorures doit être placé sous la supervision de personnes ayant la qualification, la formation, l'expertise et l'expérience requises pour l'étape spécifique des travaux dont elles sont responsables.

L'extraction électrochimique des chlorures dans le béton armé 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 d'extraction électrochimique des chlorures doit avoir un niveau de compétence approprié pour les tâches à accomplir.

L'EN ISO 15257 constitue une méthode adaptée d'évaluation des compétences du personnel de protection cathodique qui peut être utilisée aussi bien pour l'extraction électrochimique des chlorures que pour la protection cathodique. Il convient que la compétence du personnel du niveau approprié dans le domaine d'application du béton armé pour les tâches à accomplir soit démontrée par une certification conformément à l'EN ISO 15257 et par une expérience adéquate en matière d'extraction électrochimique des chlorures ou par toute autre procédure de pré-qualification équivalente.

## 6 Évaluation et réparation de la structure

### 6.1 Généralités

Avant de procéder à l'extraction des chlorures, 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. Dans la plupart des cas, de tels contrôles sont effectués à l'occasion d'inspections et amènent à choisir l'extraction électrochimique des chlorures comme option pour une éventuelle réparation. Un grand nombre des données mentionnées ci-après peuvent être déjà disponibles et seules les informations manquantes et/ou obsolètes doivent être ajoutées, selon le cas.

Les contrôles spécifiés de 6.2 à 6.9 doivent être réalisés afin de :

- a) déterminer l'aptitude de la structure à l'extraction des chlorures ;
- b) fournir des informations pour la conception et la durée du traitement ;
- c) identifier toute situation qui puisse interdire l'emploi de l'extraction des chlorures.

### 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 l'extraction des chlorures. Toutes les zones de la structure qui requièrent une extraction des chlorures 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 d'extraction des chlorures, 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 traité par extraction des chlorures, il convient de déterminer la résistivité électrique et la porosité du matériau utilisé pour la réparation par rapport au béton d'origine.

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 capacité portante résiduelle de la structure et de la nécessité de mettre en place des renforts ou des supports temporaires ou permanents.

### 6.4 Évaluation de l'activité de corrosion

Les mesures de la corrosion fournissent des informations essentielles sur l'effet des chlorures sur le comportement à la corrosion des armatures et aident à identifier les zones du béton qui nécessitent une réparation appropriée. Les méthodes de mesure appropriées sont le contrôle du potentiel, les mesures d'impulsions galvanostatiques, les mesures d'impédance AC, les mesures de résistance de polarisation linéaire (LPR) et le tracé des courbes de polarisation avec extrapolation de Tafel. Les détails et les principes de travail de ces méthodes ainsi que les approches d'interprétation des résultats obtenus sont discutés de façon approfondie dans la référence [3].

NOTE 1 Une approche courante consiste à réaliser tout d'abord un contrôle de potentiel à grande échelle parallèlement au contrôle du béton pour rechercher des défauts, à corrélérer les données obtenues avec les enrobages des armatures et à évaluer les zones suspectées de corrosion en vue d'un contrôle local détaillé.

NOTE 2 Les lectures de potentiel doivent être interprétées avec précaution car elles sont non seulement influencées par la corrosion induite par les macropiles, mais aussi par les variations d'humidité du béton, la teneur totale en eau, la variabilité dans l'épaisseur d'enrobage ou dans la composition du béton.

Une plus grande précision dans l'interprétation de l'état de corrosion peut être obtenue en incluant des méthodes avancées (impulsion galvanostatique, etc.) dans l'étendue du contrôle. Ces méthodes permettent également de démontrer le résultat et la réussite de l'application d'extraction des chlorures. Dans ce cas, des valeurs initiales doivent alors être relevées à des coordonnées d'essai spécifiées avant l'extraction des chlorures, de préférence accompagnées de profils de concentration en chlorures. Lorsqu'elles sont disponibles, il est recommandé que ces méthodes avancées soient employées.

### 6.5 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, tout comme la source de la contamination par les chlorures. 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 et leur profil depuis la surface, en passant par l'enrobage et derrière les armatures.

Il est nécessaire de s'assurer par des contrôles appropriés que l'on dispose d'informations suffisantes et correctes sur la répartition des chlorures à la surface du béton et sur la profondeur de pénétration associée. Un programme de prise d'échantillons de poudre pour suivre la progression de l'extraction des chlorures par rapport à l'état initial doit être spécifié. Les profils en chlorures doivent être mesurés dans toutes les zones du béton présentant une activité de corrosion accrue.

Il convient que les échantillons de béton prélevés pour l'analyse des chlorures soient également analysés pour déterminer leur teneur en eau. Cela fournit des informations supplémentaires permettant de mieux comprendre les mesures de potentiel (par exemple la raison de valeurs de potentiel négatives) ou concevoir l'application d'extraction des chlorures.

## **6.6 Inspection visuelle de la surface des barres d'armature et mesurage de la profondeur de carbonatation**

Une inspection visuelle de la surface des barres d'armature doit être effectuée aux emplacements présentant une activité de corrosion élevée et/ou une forte teneur en chlorures à proximité. Les résultats doivent être documentés en conséquence. La profondeur de carbonatation doit être mesurée en plusieurs emplacements pour vérifier sa répartition conformément à l'EN 14630 et pour vérifier s'il existe une éventuelle limitation combinée à la protection contre la corrosion (notamment lorsque l'enrobage est faible). Dans un tel cas, le traitement d'extraction des chlorures peut également être conçu conformément aux exigences de l'EN 14038-1.

## **6.7 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 l'extraction des chlorures, 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.

## **6.8 Alkali-réaction**

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

NOTE 1 Aucun cas de phénomène d'alcali-réaction induit par l'extraction des chlorures n'a été signalé.

NOTE 2 Des électrolytes à base de borate de lithium ont été utilisés sur des structures traitées par extraction électrochimique des chlorures et subissant une alcali-réaction (voir la référence [5]).

## **6.9 Continuité et dimensions 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 6.10.3) ou par d'autres travaux exécutés selon les méthodes et les critères d'acceptation indiqués dans l'EN ISO 12696:2016, 7.1. Ces mesures doivent porter sur :

- a) la continuité entre les éléments de la structure dans chaque zone d'extraction des chlorures ;
- 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.

## 6.10 Réparation

### 6.10.1 Généralités

Toutes les opérations de réparation doivent être exécutées conformément à l'EN 1504-9, sauf indication contraire en 6.10.2 et 6.10.3 ci-dessous.

### 6.10.2 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 l'extraction des chlorures 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.

Si l'élimination du béton et son remplacement par un béton sain, mais présentant une résistivité différente, ne sont pas réalisables, des zones anodiques séparées doivent être déterminées et une durée d'application prolongée doit être envisagée pour des zones ayant une résistivité plus élevée.

### 6.10.3 Préparation de l'armature

Sur les armatures dégagées, les écailles de calamine non adhérentes doivent être éliminées afin d'assurer un bon contact entre l'acier et le matériau de réparation, mais 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 ne doivent pas être appliqués sur l'acier. Il convient de vérifier 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 en cours de validité 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 encapsulée dans 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 distribuer et de maintenir la tension nécessaire pour le traitement d'extraction des chlorures. Les anodes peuvent être constituées d'un matériau consommable, tel que de l'acier au carbone, ou d'un matériau stable, de préférence du titane revêtu d'oxydes métalliques mixtes (Ti/MMO), tel qu'indiqué dans l'EN ISO 12696.

NOTE L'emploi d'acier au carbone ou d'un autre matériau consommable comme anode peut provoquer des taches en surface du béton.

### 7.2.3 Zone anodique

Il convient que chaque zone anodique soit conçue pour fournir à l'acier d'armature une tension uniforme. La dimension d'une zone anodique ne dépasse pas généralement une surface de béton de 30 m<sup>2</sup> ou un courant débité ne dépassant pas 100 A ou 10 A/m<sup>2</sup> de surface métallique. Chaque zone anodique doit disposer de sa propre connexion négative, généralement une tous les 30 m<sup>2</sup> de béton, avec toujours un minimum de 2 connexions afin d'assurer la redondance.

NOTE Cette zone est également désignée dans le reste du texte sous le nom de « zone d'extraction des chlorures ».

### 7.2.4 Solution électrolytique alcaline

La solution électrolytique alcaline doit être capable :

- de générer un champ électrique de conductivité satisfaisante entre l'anode et l'armature d'acier ; et
- d'alcaliniser la surface du béton, si aucune autre précaution n'a été prise pour limiter son acidification.

Pendant toute la durée du traitement, il convient de maintenir le pH de la solution à une valeur supérieure à 10. Cette valeur peut être ajustée en ajoutant un alcali à intervalles suffisamment réguliers ; d'autres mesures peuvent également être prises s'il est possible de démontrer que le pH de la solution reste supérieur à 10.

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

NOTE 2 Le volume requis pour neutraliser l'acide généré par une anode inerte est, selon la référence [4] :

$$V = 1,2 \times 10^{-7}QA,$$

où :

- V est le volume (l)
- Q est la charge (Ah/m<sup>2</sup>) ;
- A est la surface d'acier (m<sup>2</sup>).

Les fixations et les raccords dans le béton 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 :

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

Les câbles doivent être dimensionnés de façon à :

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

## 7.4 Alimentation électrique

L'alimentation électrique doit être limitée à un courant continu de 48 V avec un taux d'ondulation efficace inférieur ou égal à 100 mV RMS, à une fréquence minimale de 100 Hz.

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

Le courant continu débité doit avoir une tension constante.

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.

NOTE Bien que les tensions appliquées se situent dans les limites des TBT (très basses tensions) selon l'EN 61140 [14] (<120 V CC), les lieux d'application d'EEC ont généralement un environnement humide qui exige des limites significativement plus basses – sans que des valeurs soient spécifiées pour ces cas. Une solution pratique consiste à maintenir l'alimentation électrique à 48 V ou moins.

## 8 Méthode d'installation

### 8.1 Continuité électrique

La continuité électrique des armatures doit être vérifiée selon 6.9 avant d'appliquer le traitement d'extraction des chlorures.

Chaque zone d'extraction des chlorures doit être dotée de points de connexion multiples reliés à l'acier de l'armature, conformément à 7.2.3.

### 8.2 Autres éléments métalliques dans la zone de traitement

Si d'autres éléments métalliques sont dans ou proches de la zone de traitement, leur continuité doit être vérifiée conformément à 6.9. Une connexion électrique manquante ou incorrecte peut provoquer la formation d'électrodes bipolaires sur lesdits éléments métalliques et donc une corrosion sévère. Dans ce cas, des connexions externes doivent être ajoutées à l'armature.

### 8.3 Contrôle des performances

Chaque zone d'extraction des chlorures doit être dotée des moyens nécessaires pour surveiller :

- a) la tension et le courant ;
- b) la charge totale, en ampères-heure (Ah), et la durée du traitement ;
- c) les potentiels mesurés au niveau des électrodes de référence (mesures du potentiel instant off, le cas échéant).

Pour des raisons de sécurité, il convient de prévoir une coupure automatique si les paramètres dépassent les limites spécifiées.

Lorsque les courants initiaux sont élevés (> 10 A/m<sup>2</sup> de surface d'armature), il est conseillé de surveiller les potentiels instant off pour obtenir des informations sur une éventuelle polarisation excessive et donc un dégagement d'hydrogène. En général, de tels courants élevés seront observés sur des surfaces d'armature pré-corrodées au niveau desquelles aucun décalage de potentiel critique n'est susceptible de se produire. Cela peut être testé et démontré par des mesures de potentiel instant off similaires à celles obtenues pour des applications de protection cathodique selon l'EN ISO 12696 : Aucun potentiel instant-off d'acier/béton plus négatif que -1 100 mV par rapport à Ag/AgCl/0,5 mol/l KCl ne doit être accepté pour de l'acier d'armature ou -900 mV pour l'acier de précontrainte.

## 8.4 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 d'extraction des chlorures, l'anode doit être dotée de connexions multiples – au moins 2.

NOTE Généralement, une connexion est requise tous les 6 m<sup>2</sup> de grillage d'anode Ti/MMO – en fonction de la taille des câbles et de la charge de courant.

## 8.5 Protection de la solution électrolytique

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

## 8.6 Installation électrique

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

## 8.7 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 polarité doivent être réalisés sur toutes les zones de traitement.

La continuité électrique doit être vérifiée en mesurant les résistances sur toutes les connexions d'anode dans chaque zone de traitement. Les valeurs doivent être inférieures à la valeur définie par l'étude +10 %. La continuité électrique de la cathode/l'armature doit être prouvée en mesurant la résistance entre toutes les connexions de cathode dans chaque zone de traitement. Les valeurs doivent être inférieures à la valeur définie par l'étude +10 % ou à 0,1 ohm, la valeur la plus faible étant retenue.

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 des barres d'armature (le cas échéant) doivent être mesurés pour chaque zone d'extraction des chlorures afin de détecter les courts-circuits qui doivent être corrigés avant de mettre le système sous tension. Les valeurs doivent être supérieures à la valeur définie par l'étude, sans jamais être inférieures à 10 Ohms.

# 9 Mise en service, fonctionnement et fin du traitement

## 9.1 Inspection visuelle

Avant d'activer le dispositif d'extraction des chlorures, 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, et contre toute interférence.

## 9.2 Mesures de sécurité

Notamment en cas d'extraction des chlorures dans des zones à l'intérieur ou dans un espace confiné, le concepteur et le constructeur doivent réaliser une évaluation spécifique des risques et prendre les mesures de sécurité limitant les risques pour les personnes et les infrastructures. En l'absence de précautions, du gaz chloré peut s'accumuler dans les parties basses et provoquer des dangers et une atmosphère corrosive.

### 9.3 Mise sous tension et réglage du courant débité

La mise sous tension ne doit intervenir qu'après les essais préliminaires conformément à 8.7 et à 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. Une fois les vérifications réalisées et documentées avec le système sous faible tension, cette dernière peut être augmentée par paliers jusqu'au niveau de fonctionnement prévu, tout en surveillant que le courant ne dépasse pas les limites définies par l'étude.

La densité de courant d'extraction des chlorures ne doit pas dépasser 10 A/m<sup>2</sup> de surface d'armature pendant une période prolongée.

NOTE 1 En utilisant une tension de 40 V, la densité de courant chute normalement en dessous de 5 A/m<sup>2</sup> de surface d'armature après quelques jours de fonctionnement.

NOTE 2 Le fonctionnement du dispositif d'extraction des chlorures à une tension inférieure à 40 V augmentera la durée de traitement requise.

Aucune recommandation ou spécification générale ne peut être faite pour la répartition du courant et de la charge sur les couches d'armature, et donc pour la surface d'armature à prendre dans les calculs correspondants. Par exemple, avec un enrobage mince ( $\leq 20$  mm) presque l'intégralité du courant sera déchargée sur la couche supérieure/extérieure de l'armature ; tandis qu'avec un enrobage de 40 mm d'épaisseur et un espacement de 12 cm entre la couche externe d'armature et la suivante, environ 30 % de la totalité du courant imposé pourrait être déchargée sur cette couche d'armature suivante. Mais cela n'est qu'une hypothèse, car les conditions d'application, également influencées par des différences d'humidité du béton et de résistances de polarisation à la surface des armatures varieront lors de l'extraction électrochimique des chlorures.

### 9.4 Inspection de routine et maintenance

Il convient d'effectuer fréquemment et quotidiennement une inspection de routine, notamment lorsque le dispositif est utilisé dans des zones accessibles à d'autres personnes que celles en charge de l'extraction des chlorures et/ou pouvant subir des chocs mécaniques. Les contrôles suivants doivent être réalisés et les données correspondantes consignées :

- a) confirmation que toutes les zones d'extraction des chlorures fonctionnent ;
- b) confirmation que le système de contrôle du courant et de la durée (Ah) spécifié en 8.3 fonctionne correctement pour contrôler toutes les zones d'extraction des chlorures ;
- c) mesurage de la tension et du courant délivrés à chaque zone d'extraction des chlorures ;
- 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 d'extraction des chlorures sont entièrement en contact avec la solution électrolytique ou avec le réservoir électrolytique. Cela inclut un mesurage du pH de l'électrolyte ou des concentrations en électrolyte dissout afin de déterminer les besoins de recharge.

### 9.5 Contrôle du processus d'extraction des chlorures

Dans chaque zone d'extraction des chlorures, la tension, le courant, les potentiels mesurés au niveau des électrodes de référence (si spécifiés dans la conception) et la durée de traitement doivent être mesurés et enregistrés à des intervalles de 2 h maximum.

Pendant le traitement, des échantillons de poudre contenant des chlorures doivent être prélevés à des emplacements déjà contrôlés avant le traitement, conformément au plan d'échantillonnage des prélèvements prévus, afin de déterminer la progression locale de l'EEC.

Pour les systèmes automatisés, contrôlés par ordinateur, le contrôle doit être continu ou à des intervalles ne dépassant pas 2 h.

La quantité de chlorures extraits peut être déterminée en tant qu'indicateur de l'avancement du traitement.

## 9.6 Fin du traitement

Il n'existe pas de critères uniques explicites pour la fin du traitement. En raison des conditions hétérogènes dans le béton (dues à différents types de ciment, à la perméabilité, à l'enrobage, à la disposition des armatures), aucune corrélation spécifique avec les valeurs électriques mesurées ne peut être établie. La décision de mettre fin à l'application doit être prise en tenant compte d'au moins un des éléments suivants.

- Teneur en chlorures : Un profil en chlorures acceptable et une faible teneur en chlorures à proximité des barres d'armature sont atteints dans toutes les zones d'extraction des chlorures. La teneur en chlorures obtenue doit être déterminée conformément à l'EN 14629 et ne doit pas dépasser 0,4 % de la masse de ciment dans un rayon de 25 mm ou d'un diamètre autour des armatures. Les profils en chlorures doivent inclure tous les emplacements qui ont été soumis à l'essai avant de procéder à l'extraction des chlorures et pour lesquels des valeurs élevées ont été observées.
- Charge électrique : Selon le degré de corrosion des armatures, une charge totale comprise entre 400 Ah/m<sup>2</sup> et 2 000 Ah/m<sup>2</sup> maximum est appliquée. La formation d'ions hydroxyle à la surface de l'armature accroît la résistance à la polarisation contre toute corrosion supplémentaire induite par les chlorures et favorise significativement la désalinisation.

En raison des effets combinés de l'extraction des chlorures et de l'alcalinisation sur la capacité du béton à protéger l'armature, le concepteur peut spécifier des critères de réussite individuels et doit démontrer le niveau obtenu de protection contre la corrosion par d'autres méthodes d'essai, dont, entre autres :

- Contrôle des potentiels naturels : Le mesurage répété des potentiels en circuit ouvert doit fournir la preuve de l'élimination des piles de couplage au niveau de l'armature. Il convient d'effectuer ce contrôle environ 4 à 6 mois après la fin de l'application d'extraction des chlorures ; les zones adjacentes à la zone traitée doivent également être incluses. La différence de potentiel maximale sur la zone contrôlée ne doit pas dépasser 150 mV. Les recommandations pour la réalisation d'un contrôle des potentiels sont données par exemple en [9] et [10].
- Mesurage amélioré de la corrosion : Il permet de renseigner immédiatement sur les modifications du comportement de la corrosion en certains points précis et sur l'élimination de l'activité corrosive en générale (par exemple des mesurages d'impulsion galvanostatique, de résistance de polarisation linéaire et des tracés de courbes de polarisation avec extrapolation de Tafel). Ces méthodes peuvent également être appliquées pour déterminer si une augmentation des chlorures résiduels après l'extraction électrochimique des chlorures est tolérable ou non. Des recommandations pour l'interprétation des données de mesurage sont données, par exemple, dans les références [3], [11], [12] et [13].

Si le résultat de l'extraction électrochimique des chlorures ne satisfait pas à l'un des critères ci-dessus, les traitements doivent être répétés après une pause de 3 à 5 semaines.

NOTE 1 En cas de pénétration profonde des chlorures, ceux-ci seront éliminés de la zone d'enrobage et migreront des couches profondes du béton vers l'anode. Ainsi, la teneur en chlorures dans l'enrobage peut même augmenter lors des premières semaines.

NOTE 2 Dans de nombreux cas, 400 Ah/m<sup>2</sup> se sont révélés suffisants pour créer une protection sûre et durable contre la corrosion, même avec des taux de chlorures résiduels à proximité de l'armature supérieurs à 0,8 % par rapport à la masse de ciment. Dans certains cas, comme une pénétration limitée des chlorures, une réparation importante avec un béton exempt de chlorure ou des armatures toujours passives avec des résistances à la polarisation correspondantes élevées, une charge appliquée plus faible, jusqu'à 200 Ah/m<sup>2</sup> de surface d'armature, peut être appropriée. L'augmentation de la résistance de polarisation à la surface de l'armature limitera l'afflux de courant lors de l'extraction électrochimique des chlorures.

Dans le cas d'une armature pré-corrodée, une charge beaucoup plus importante peut être nécessaire pour produire un effet de (ré)alcalinisation durable dans le béton environnant. Une charge plus importante de courant à appliquer est alors nécessaire pour dissoudre les produits de corrosion avant que la réduction de l'oxygène ne puisse devenir la principale réaction cathodique. Théoriquement, plus de 700 Ah/m<sup>2</sup> sont nécessaires pour réduire les oxydes sur une surface d'acier corrodée lorsque l'enrobage n'est pas endommagé. Dans un tel cas – généralement signalé par des intensités initiales et résiduelles très élevées – une charge totale d'au moins 1 000 Ah/m<sup>2</sup> doit être appliquée. En revanche, les charges supérieures à 2 000 Ah/m<sup>2</sup> doivent être évitées car elles peuvent avoir des effets indésirables (comme augmenter la génération de dihydrogène, ou réduire la cohésion entre l'armature et le béton [5]).

NOTE 3 La prise en considération de décharges de courant sur d'autres armatures peut se faire par le calcul de toutes les surfaces d'armatures situées sur une profondeur donnée de béton, généralement 200 mm. 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 généralement 30 % de la densité de courant reçue par la couche d'armature située au-dessus.

NOTE 4 Le délai entre la fin du traitement et le contrôle des potentiels est important pour permettre au béton de sécher après le mouillage important subi pendant le traitement d'extraction des chlorures et pour permettre à l'armature de se dépolariser de la polarisation cathodique.

NOTE 5 Une interprétation des résultats par un expert pourrait être nécessaire. Si les mesures de résistance de polarisation linéaire (LPR) et le tracé des courbes de polarisation avec extrapolation de Tafel démontrent une amélioration significative de la protection contre la corrosion immédiatement après la fin du traitement – soit en remplissant le critère de passivité (0,1 µA/cm<sup>2</sup> ou 0,2 µA/cm<sup>2</sup> selon le type de cellule de mesurage employée – voir [3]) soit par une évolution vers la passivité d'au moins 30 % de la valeur avant EEC – le traitement peut être considéré comme réussi et d'autres modifications substantielles de ces valeurs vers la passivité sont probables dans les mois suivant l'EEC.

## 10 Rapport final

Une fois l'opération d'extraction des chlorures 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) 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 ;
- c) une description de la structure ou de la partie structurelle en béton armé (la disposition des armatures, le type de ciment, le type de granulats, la composition du béton si elle est connue, les résultats de l'évaluation complète de la corrosion conformément à l'Article 6, le choix de l'EEC comme méthode de réparation préférée) ;
- d) une description de la conception du traitement d'extraction des chlorures, y compris :
  - le calcul de l'aire de surface de l'armature, afin de démontrer la conformité aux exigences de 9.5 ;
  - une copie du descriptif des travaux avec la définition des critères d'acceptation ;

- les matériaux utilisés pour le processus d'extraction des chlorures (matériau constitutif de l'anode et composition chimique de l'électrolyte) ;
  - 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 la prise d'échantillons du béton ;
- f) les données de surveillance du procédé : des enregistrements des tensions, intensités et charges pour chaque zone anodique, de la température et toute autre valeur (profils des chlorures aux points d'échantillonnage spécifiés, pH de l'électrolyte, valeurs mesurées de potentiel, quantité de chlorures extraite) enregistrée pendant et après le traitement conformément aux exigences de conception, la supervision du processus (accès distant aux données, toutes les actions d'inspection et de maintenance – y compris, entre autres, le suivi du pH et l'ajustement de l'électrolyte) ;
- g) l'analyse des résultats, dont la comparaison entre les résultats obtenus et les exigences de 9.6 pour chaque zone anodique, un examen de toutes anomalies ou variations locales enregistrées, accompagnée d'un état relatif à l'efficacité et à la réussite du traitement ;
- h) la fréquence et le type de la surveillance de la corrosion en cours, qui doivent être spécifiés par le concepteur dans le cadre du processus de conception et de l'analyse post-traitement. En outre, des mesurages améliorés de la corrosion peuvent être effectués tel qu'indiqué en 9.6 ;

NOTE Ainsi qu'indiqué en 9.6, il est important de tenir compte de l'influence de l'augmentation de l'humidité du béton et de la forte polarisation cathodique sur les résultats des mesurages après l'EEC.

- i) les autres documents pertinents.

## 11 Revêtement et contrôle post-traitement

Dans le cadre de la conception d'une réparation, la possibilité d'une pollution continue aux chlorures dans le béton traité et sur sa surface doit être considérée.

Si nécessaire, un revêtement esthétique ou de protection doit être appliqué aux surfaces de béton traitées. Le choix du revêtement et son application doivent être effectués avec prudence car l'EEC pourrait conduire à une surface très humide, à pH élevé selon le type d'anode utilisé.

Outre la surveillance indiquée en 10 h) et celle éventuellement requise par la conception de l'EEC ou par l'évaluation des données du processus, des dispositifs doivent être installés pour permettre le post-traitement, la surveillance permanente de l'efficacité du traitement en des points spécifiés. Cela ne remplace pas une surveillance générale de la corrosion, mais traite des endroits d'intérêt particulier.

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] Schneck U.: *Electrochemical chloride extraction.: Concrete Repair – A practical guide*. (Grantham M., ed.). Taylor & Francis, Milton Park, 2011
- [3] Broomfield J. *Corrosion of steel in concrete – understanding, investigation and repair*. Taylor & Francis, Milton Park, Second Edition, 2007
- [4] NACE SP 0107-2007, *Electrochemical Realkalization and chloride extraction for Reinforced Concrete*, NACE International Houston TX, USA, 2017
- [5] Bennett *et al.* *Electrochemical chloride removal and protection of concrete bridge components: laboratory studies SHRPS-657, Strategic Highway Research Program*. National Research Council, Washington, DC, 1993
- [6] Bennett *et al.* *Electrochemical chloride removal and protection of concrete bridge components: field trials SHRP-S-669, Strategic Highway Research Program*. National Research Council, Washington, DC, 1993
- [7] Bennett *et al.* Chloride removal implementation *SHRP-S-347, Strategic Highway Research Program*. National Research Council, Washington, DC, 1993
- [8] Bennett *et al.* *Evaluation of NORCURE process for electrochemical chloride removal from steel reinforced concrete bridge components SHRP-C-620, Strategic Highway Research Program*. National Research Council, Washington, DC, 1993
- [9] Elsener B., Andrade C., Gulikers J., Raupach M. RILEM TC 154-EMC. Half-Cell Potential Measurements - Potential Map-ping on Reinforced Concrete Structures. *Mater. Struct.* 2003, 36 (261) pp. 461–470
- [10] DGZfP Specification B3. *Electrochemical Half-Cell Potential Measurements for the Detection of Reinforcement Corrosion*, German Society for non-destructive Testing, 2014
- [11] Concrete Society Technical Report 60: *Electrochemical tests for reinforcement corrosion*, *Concrete Society*, Blackwater UK, 2004
- [12] *RILEM TC 154 Electrochemical Techniques for Measuring Metallic Corrosion: Test methods for on-site corrosion rate measurements of steel reinforcement in concrete by means of the polarization resistance method*. *Materials and Structures*, Vol. 37, 2004
- [13] Bard A., Faulkner L. *Electrochemical Methods. Fundamentals and Applications*. John Wiley and Sons Inc, 2001
- [14] EN 61140, *Protection contre les chocs électriques — Aspects communs aux installations et aux matériels (IEC 61140)*
- [15] EN 14038-1, *Réalcalinisation électrochimique et traitements d'extraction des chlorures applicables au béton armé — Partie 1 : Réalcalinisation*

- [16] EN ISO 15257, *Protection cathodique — Niveaux de compétence des personnes en protection cathodique — Base pour un dispositif particulier de certification (ISO 15257)*