

Zeitschrift: IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH
Kongressbericht

Band: 7 (1964)

Rubrik: Vc: Corrosion of reinforcing steels and resulting damage

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 19.11.2024

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

V c 1

Résumé du rapport général d'enquête sur la corrosion des armatures des ouvrages en béton armé et des armatures de précontrainte

Auszug aus dem Untersuchungsbericht über Korrosionsschäden an Armierungen bei Stahlbeton- und Spannbeton-Tragwerken

Abstract of the Survey Report on Damage Resulting from Corrosion of Reinforcement Steels in Reinforced and Prestressed Concrete Structures

H. LOUIS
Prof., Belgique

En 1960, un groupe de travail de la Commission III de l'A.I.P.C. a été chargé de l'étude des problèmes de corrosion des armatures des ouvrages en béton armé et des armatures de précontrainte.

Sa première tâche consistait à recueillir des informations sur les cas de corrosion rencontrés en pratique en procédant à une enquête auprès des membres de l'A.I.P.C., par l'intermédiaire des Présidents des Groupements nationaux.

Un questionnaire rédigé en anglais et en français, approuvé par le Président de la Commission III et par le groupe de travail, a été porté à la connaissance des membres de l'A.I.P.C.

Au préalable, il avait reçu l'accord de M. le Professeur LOBRY de BRUYN, Président de la Commission de corrosion de la R.I.L.E.M., cette commission et le groupe de travail ayant décidé en 1962 de collaborer étroitement en vue de rechercher une explication théorique des cas de corrosion signalés en réponse à l'enquête et suite à leur examen, de proposer des sujets de recherches et de mettre sur pied des recommandations pratiques.

Neuf pays ont participé à l'enquête: la République Fédérale d'Allemagne Occidentale, l'Australie, l'Autriche, la Belgique, le Danemark, la France, les Indes, le Portugal et la Suède.

Sur les bases des réponses, un rapport général a été établi; il a été déposé lors de la Réunion que le Comité Permanent de l'Association a tenue à Zurich au mois de septembre 1963. A cette session, il a été décidé d'envoyer à nouveau le questionnaire à chacun des délégués au Comité Permanent à qui il était demandé de contacter individuellement les membres de l'Association.

Si de nouvelles réponses parviennent à temps au rapporteur, le rapport général pourra faire l'objet d'un premier complément à présenter au Congrès de Rio de Janeiro.

Avant d'entreprendre le résumé de ce rapport, il convient de rappeler que des enquêtes du genre de celle entreprise par l'A.I.P.C. ont déjà eu lieu en

Grande-Bretagne et en Hollande et que des travaux importants ont été publiés sur le même sujet, notamment dans les rapports des congrès de l'Association.

A la date du 1er août 1963, l'enquête a permis de réunir 62 réponses complètes ou partielles dont les résultats font l'objet, dans le rapport général, d'une première partie consacrée aux ouvrages en béton armé et d'une seconde partie ayant trait aux armatures de précontrainte.

Ouvrages en béton armé

56 réponses ont été données, parmi lesquelles cinq cas concernant des ponts n'ont pas donné lieu à corrosion des armatures malgré une importante fissuration du béton et la présence d'un milieu ambiant peu favorable.

Des 51 cas restants, 29 sont relatifs à des ponts, 11 concernent des bâtiments industriels ou à usage d'habitation, 11 ont trait à des constructions diverses.

Quatre constructions présentant des dommages ne constituent pas à proprement parler des ouvrages en béton armé; il s'agit de deux plafonds en terre cuite armée et de deux cas de conduites de chauffage enrobées de mortier ou de béton. Ces cas particuliers sont décrits assez longuement car ils permettent d'attirer l'attention sur certains problèmes dont la reproduction est assez fréquente: condensation de vapeur, atmosphère chaude et saturée d'humidité, perméabilité de l'enrobage, épaisseur d'enrobage trop faible, présence de chlorure de calcium et sa concentration très inégale, ventilation insuffisante.

Les autres cas de corrosion étant trop nombreux que pour être décrits individuellement, les renseignements fournis ont été groupés d'après l'âge des constructions, le milieu ambiant, la localisation des dégradations, la nature de celles-ci, les causes invoquées pour les expliquer, les réparations effectuées, les précautions qui auraient pu éviter les dommages.

L'âge des constructions dégradées varie entre 0 (corrosion observée dès la mise en service) et 70 ans, leur âge moyen est 35 ans; l'âge moyen du début des détériorations est de 8 ans.

Les types de milieu ambiant rencontrés ont été classés comme suit: atmosphère normale considérée comme n'étant pas agressive (13 cas), humide (21 cas), agressive (10 cas), contact avec l'eau ou voisinage de l'eau (7 cas).

Les dégradations dues à la corrosion se sont manifestées au voisinage des armatures, soit dans les parties de l'ouvrage les plus exposées, soit aux endroits où la qualité et le serrage du béton sont susceptibles d'être les moins bons, soit encore sur l'ensemble de l'ouvrage ou tout au moins sur une partie importante de celui-ci exposée à des actions agressives.

C'est ainsi que pour 17 constructions, les corrosions ont été constatées à la partie inférieure des éléments: base des nervures, semelles ou talons des poutres (fig. 1), cependant que dans certains cas les désordres suivent à la fois la position des étriers et celle des armatures principales inférieures (fig. 2).

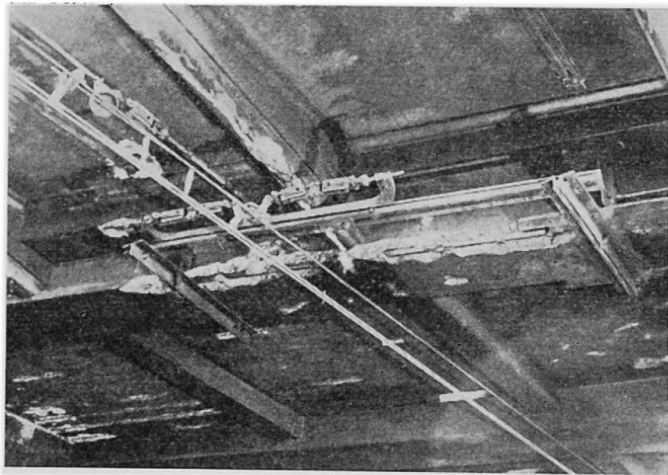


Fig. 1.



Fig. 2.

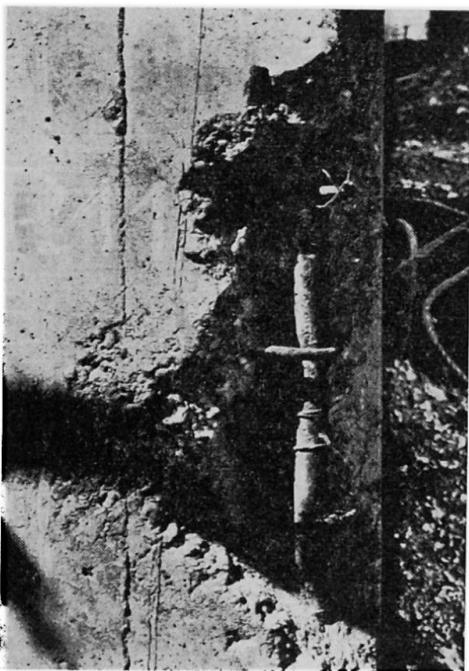


Fig. 3.

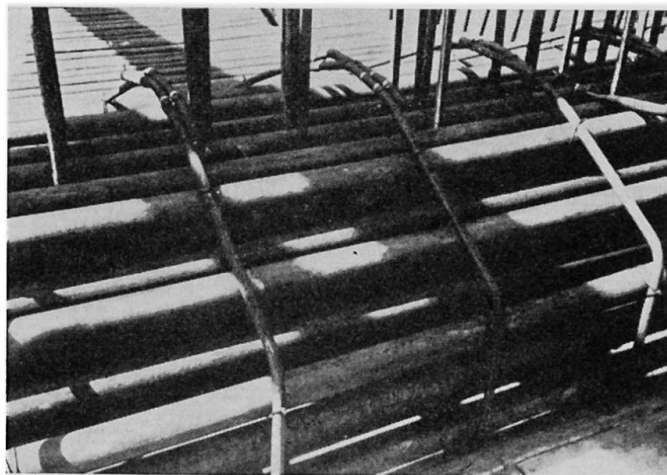


Fig. 4.

On constate systématiquement que les angles, les arêtes, les zones voisines des joints et du raccordement de plusieurs pièces, les zones à trop forte densité d'armatures, constituent des endroits de prédilection pour la corrosion.

Les dégradations observées comportent des ouvertures anormales de fissures transversales et longitudinales — jusqu'à 3 mm —, des éclatements, des effritements, des écaillages et des décollements du béton. Dans certains cas, la destruction du béton est totale avec mise à nu des aciers.

L'oxydation des armatures est parfois à peine visible, tandis qu'elle conduit pour certains ouvrages à des réductions importantes de section, de plus de 25% (fig. 3) et même à des ruptures.

En ce qui concerne les causes invoquées pour expliquer les désordres, elles ne sont pas connues ou aucune explication n'est donnée à propos de 8 des 51 cas décrits. Pour 36 ouvrages, il est fait état soit d'un enrobage insuffisant (19 cas) soit de la mauvaise qualité du béton manifestement mal serré et trop poreux (17 cas). L'enrobage est parfois inférieur à un centimètre, tandis que la qualité insuffisante du béton est attribuée à un ou plusieurs des facteurs suivants: pauvreté en ciment; mauvaise granulométrie; excès d'eau de gâchage; moyen de serrage insuffisant, défectueux ou mal approprié; densité trop grande des armatures (fig. 4).

Les bétons de mauvaise qualité donnent lieu fréquemment à l'apparition de fissures longitudinales qui ont nettement pour effet de réduire d'abord, puis de supprimer rapidement tout caractère protecteur de l'enrobage.

On rencontre encore comme cause des fissurations et des désordres la perméabilité des joints, des reprises de bétonnage défectueux, la ségrégation des constituants du béton soit lors de la mise en place par gravité avec chute d'une trop grande hauteur, soit par suite de la simple vibration du coffrage, soit encore parce qu'une couche de mortier fin entourant les armatures est prise en sandwich entre le béton du fond de coffrage et le béton de remplissage au-dessus des armatures (des fissures longitudinales naissent à la jonction des divers matériaux).

Il est constaté que le processus de destruction des ouvrages est gravement accéléré par des variations de température et d'humidité ou par l'adjonction de certains plastifiants et de chlorure de calcium.

Les dégradations signalées sont tellement importantes que pour certains ouvrages, la démolition complète a dû être décidée. Des réparations effectuées ou prévues sont décrites pour 32 cas; elles sont très variées: remplacement, renforcement local et même rechargement par soudure des armatures; décapage, nettoyage et badigeonnage au lait de ciment, des aciers; décapage au jet de sable et repiochage du béton en place; réparation par projections d'éléments fins; injection dans les fissures de produits à base de bitume.

Certaines réparations se sont mal comportées; l'attention est attirée sur la nécessité de ne pas limiter les réparations aux régions visiblement endommagées, mais de les étendre à un large voisinage de ces régions.

Les précautions suivantes maintes fois signalées seraient susceptibles sinon d'éviter complètement du moins de réduire l'importance des dommages:

- Etude soignée de la granulométrie, la préférence étant donnée aux granulométries continues.
- Utilisation de béton suffisamment riche en ciment; mise en œuvre de mortiers riches et plastiques pour l'enrobage de canalisations.
- Epaisseur de l'enrobage adaptée à l'agressivité du milieu ambiant: l'épaisseur conseillée varie de 5 à 7 centimètres en cas d'atmosphère saline; la protection par un enrobage suffisant doit être suffisante aussi bien pour les étriers, les armatures de retrait et toutes armatures secondaires que pour les armatures principales.
- Fixation soignée et inamovible des armatures dans le coffrage; les ligatures, s'il en existe, doivent rester suffisamment en retrait par rapport aux parements.
- Soin apporté à la mise en place et au serrage du béton.
- Soin apporté dans la confection et l'imperméabilisation des joints.
- Enduisage par des produits de qualité, étudiés, éprouvés et appropriés, des surfaces particulièrement exposées à une atmosphère agressive.
- Utilisation prudente et en quantité limitée de chlorure de calcium, à propos duquel il y a lieu de se prémunir contre une répartition inégale dans la masse de béton.
- Installation d'écrans protecteurs destinés à éviter le contact direct d'éléments de la construction avec certains gaz et fumées.
- Nécessité d'assurer une ventilation et une circulation d'air énergiques afin de maintenir le degré hygrométrique de l'air ambiant à une valeur suffisamment basse.
- En atmosphère marine et au contact de l'eau de mer, protéger les infrastructures par une couche de sable suffisamment épaisse.

Des notes générales provenant d'Autriche, du Danemark, de Grande-Bretagne et de Suisse ont aussi été envoyées dans le cadre de l'enquête. Les différentes causes qu'elles mettent en avant pour expliquer les cas de corrosion, de même que les précautions à prendre sont quasiment identiques aux conclusions tirées de l'ensemble des cas soumis à l'enquête du groupe de travail de l'A.I.P.C.

En particulier la concordance s'avère très bonne avec les considérations tirées par M. HILL, à propos du comportement de bâtiments en béton armé construits en Grande-Bretagne durant les cinquante premières années du siècle. Il écrit en effet: « Les constructions examinées comprennent des bureaux, des bâtiments industriels, des hangars, des meuneries, des usines à gaz et de produits chimiques.

Beaucoup de ces constructions ont requis jusqu'ici très peu d'entretien mais

d'autres ont atteint un stade où des réparations importantes et coûteuses s'avèrent nécessaires; ces constructions doivent être considérées comme structures dangereuses car l'effritage des pièces nuit de plus en plus à la sécurité.

Si le béton est proprement fait et employé judicieusement, les constructions présentent un caractère durable. Aucune différence de durabilité n'a été observée dans les constructions où on a utilisé du ciment Portland normal ou d'autres types de ciment, des agrégats constitués de gravier ou de concassé.

En atmosphère agressive (au bord de la mer, dans les usines à gaz ou dans les usines de produits chimiques...) la vie du béton armé, même de bonne qualité, est assez courte à moins que les surfaces exposées ne soient protégées efficacement et maintenues en bon état.

Même en milieu modérément agressif, la vie du béton armé sans détérioration est assez courte si le recouvrement des armatures est faible, si les fils de ligatures font saillie sur le béton ou si le béton est poreux.

A l'intérieur des bâtiments, des problèmes de corrosion peuvent se présenter en cas de fuite d'eau, généralement au travers d'une toiture défectueuse, en cas de condensation d'eau dans les fissures ou d'emploi d'eau salée pour éteindre le feu et dans les cas où des corps gras, des acides ou d'autres substances agressives ont été répandus.

Aux causes les plus fréquentes de détérioration, dues à des enrobages insuffisants et à une mauvaise qualité du béton, il convient d'ajouter les études mal conduites, le choix de matériaux inappropriés, les défauts d'exécution et l'action de substances chimiques agressives en suspension dans l'air ou dans l'eau.

Il est généralement possible de prolonger de façon notable la vie des constructions endommagées moyennant des réparations soignées dont le prix n'est égal qu'à une fraction de la reconstruction complète.

Pour éviter les désordres, il est recommandé d'adopter des épaisseurs de recouvrement suffisantes et de ne pas descendre en dessous de $1\frac{1}{2}$ " dans le cas de surfaces exposées dangereusement. Ces mesures doivent être prises également vis-à-vis des barres petites ou secondaires (étriers, frettages, etc...) qui souvent servent de chemin à l'humidité qui peut ainsi progresser jusqu'aux barres principales.

La fixation soignée des barres dans les coffrages de même que le maintien d'espaces suffisants (entre et autour de toutes les barres) proportionnés aux dimensions des agrégats utilisés sont indispensables.

Les fissures dans les zones exposées sont dangereuses de même que les changements brusques de section ou de pourcentage d'acier; les coins, les ouvertures, les joints sont particulièrement vulnérables.

Comme l'acier est l'élément sensible, il ne doit être prévu que là où il est indispensable.

Les surfaces horizontales sont à éviter sauf si elles sont recouvertes d'asphalte ou de bitume.

Le dosage, la granulométrie des agrégats, les dispositifs de mise en place ou de vibration du béton doivent être soigneusement étudiés.»

Ouvrages en béton précontraint

Les dégâts dus à la corrosion des armatures, présentent en général un caractère de gravité plus grand en béton précontraint qu'en béton armé; on constate aussi qu'ils surviennent beaucoup plus rapidement.

Deux cas signalés dans les réponses au questionnaire concernent les ruptures lors du stockage.

Les ruptures de fils de 7 millimètres de diamètre ayant subi un traitement de stress-relieving sont attribuées à un entreposage sur des bobines de faible diamètre (1,5 mètre) ce qui donne lieu à des tensions d'enroulement de plus de 90 kg/mm². Dans un cas, les ruptures sont particulièrement nombreuses suite à des piqûres de corrosion due à de l'écume d'eau de mer qui, lors d'un typhon, a atteint l'aire de stockage.

Des expériences consécutives à ces constatations ont montré qu'il suffisait de porter à deux mètres le diamètre des bobines pour être à l'abri de telles ruptures.

Les constructions en béton précontraint, ayant fait l'objet d'une réponse au questionnaire sont au nombre de douze; elles se répartissent comme suit: 4 ponts, 5 poutres en dalles de couverture, 2 canalisations et un ancrage dans du rocher.

L'âge moyen de ces constructions est seulement de quelques années et l'âge maximum auquel correspond l'apparition des dégradations n'est que d'une dizaine d'années.

Chacune des douze réponses constitue un cas d'espèce; elle fait l'objet d'une description sommaire dans le rapport général. A la liste de ces constructions endommagées, il convient d'ajouter les ruptures des fils de précontrainte transversale de la conduite de Regina au Canada à propos desquelles maintes descriptions et études ont fait l'objet de publications.

Le nombre de constructions signalées lors de l'enquête et auxquelles sont survenus des dommages est insuffisant pour permettre de tirer des conclusions générales sur la corrosion des armatures de précontrainte du béton. Ces cas doivent cependant attirer l'attention sur une série de points particuliers.

La précontrainte ayant pour effet de supprimer la fissuration en service ou du moins de la réduire fortement, on croit parfois, à tort, que le danger de corrosion des armatures de précontrainte est moins grand que celui qui menace les armatures de béton armé et cela d'autant moins que le béton des constructions précontraintes présente le plus souvent les caractéristiques mécaniques les plus élevées.

Une telle idée est dangereuse et il est indispensable surtout dans les cas

d'atmosphère humide ou agressive de prévoir des enrobages suffisamment importants et bien exécutés si on veut éviter les dégradations. On note d'ailleurs actuellement une tendance systématique à l'accroissement des épaisseurs d'enrobage imposées aux armatures de précontrainte.

Les fils présentent en général un diamètre nettement plus petit que celui des armatures de béton armé, ils sont de plus soumis à des tensions de beaucoup plus élevées.

Le danger est très grand, en cas d'attaque par la corrosion, d'obtenir des ruptures brusques des fils suite aux concentrations de tensions dues à l'effet d'entaille. Les accidents dus à la corrosion présentent donc en général un caractère de gravité beaucoup plus grand en béton précontraint qu'en béton armé. On constate de plus qu'ils surviennent beaucoup plus rapidement, parfois même pendant le stockage des fils ou après leur mise en tension avant leur enrobage dans le béton ou dans le mortier d'injection.

Il semble bien que si la nature du ciment ne joue pas un rôle très important en béton armé, ce n'est pas le cas pour le béton précontraint. L'utilisation de ciment alumineux ou l'utilisation dans une même construction de deux types différents de ciment est considéré comme dangereuse. La présence de chlorure de calcium est redoutée même en très faible pourcentage du poids du ciment.

Le danger des atmosphères agressives (fumées de locomotive, gaz provenant de produits chimiques, acide sulfurique, vapeurs) ou très humides ainsi que le danger des actions électrochimiques ou du contact des ouvrages avec les produits de décomposition du sol, sont mis en évidence dans différents cas traités.

Cependant le rôle défavorable de la carbonatation du béton peut être souligné en signalant à cet égard que la nature du ciment, de même que les additifs jouent un rôle important auquel les chercheurs et les praticiens sont de plus en plus attentifs en raison de la grande sensibilité des armatures de précontrainte à la corrosion.

Plusieurs pays envisagent la mise sur pied de nouvelles réglementations notamment dans le sens d'une limitation dans la possibilité du choix du ciment et de l'emploi d'additifs tel que le chlorure de calcium tandis qu'une distinction tend à s'établir entre les constructions précontraintes et les constructions postcontraintes.

Sans prendre parti, nous croyons pouvoir signaler qu'une majorité semble se faire pour écarter le ciment alumineux dans les constructions pré- ou postcontraintes et pour rejeter l'emploi de chlorure de calcium comme additif dans le béton de ces constructions.

* * *

Diverses études bibliographiques ou comptes rendus de recherches sur les problèmes de la corrosion ont été envoyés dans le cadre de l'enquête en cours.

Parmi ces travaux, il convient de souligner l'intérêt que présentent les

investigations entreprises par M. le Dr G. REHM et M. H. VOLL au sujet du contrôle sur des constructions réelles de la passivité des aciers enrobés.

D'après les connaissances actuelles, le rôle de protection joué par le béton vis-à-vis des armatures provient d'une part de ce que le béton jeune ayant un pH d'environ 12, l'acier se comporte passivement dans un tel milieu et d'autre part d'une suffisante imperméabilité du béton à l'air et à l'eau.

L'alcalinité du béton est due en ordre principal à l'hydroxyde de calcium formé par hydratation des silicates calciques et pour une part insignifiante à la faible teneur des ciments en NaOH et KOH.

La passivité des aciers enrobés dans le béton disparaît lorsque la valeur du pH du béton diminue de façon sensible (pH – 8 à 10). Cette diminution du pH provient surtout d'une carbonatation de l'hydrate calcique libre. La vitesse de carbonatation du béton dépend essentiellement de sa perméabilité, de la teneur en CO₂ de l'atmosphère et de l'humidité du béton. Les études effectuées en Allemagne sur quelques constructions anciennes qui ont été démolies, ont permis d'obtenir des données sur l'importance de la carbonatation du béton en atmosphère normale et sur son influence sur la corrosion des armatures.

Les travaux de MM. REHM et VOLL (Technische Hochschule de Munich: Professeur H. RÜSCH) ont porté à la fois sur la mesure du pH du béton de diverses sections transversales des pièces prélevées et sur la détermination du degré de corrosion des armatures.

Pour la détermination du pH, la méthode utilisée consiste à laisser tomber sur la surface fraîche et humidifiée à étudier, quelques gouttes d'une solution alcoolphénolphtaléine dont le point de virement de la couleur correspond à un pH voisin de 8,3. Le béton dont le pH est supérieur à 8,3 se colore en rouge tandis que celui dont le pH est inférieur à 8,3 reste inchangé.

Pour un pH inférieur à 8,3, il ne faut pas s'attendre à la passivité de l'acier et on peut admettre que le béton est carbonaté à un degré très poussé. Pour un pH supérieur à 8,3, le béton contient encore de la chaux libre, même s'il y a

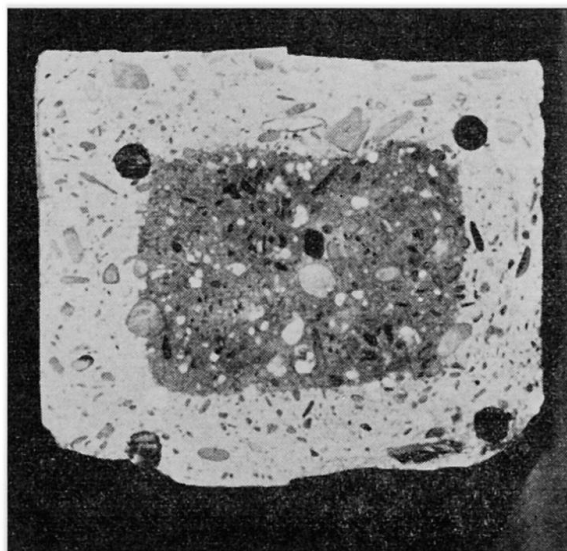


Fig. 5.

déjà en partie carbonatation mais pour rendre les choses comparables et l'interprétation aisée, on considère les zones à pH supérieur à 8,3 comme non carbonatées.

Le degré de corrosion des armatures est d'autre part déterminé suivant une échelle conventionnelle dont chaque valeur correspond à une profondeur déterminée de la partie corrodée.

La fig. 5 montre à titre d'exemple la zone centrale foncée (en rouge sur la pièce) d'une section transversale d'un élément en béton armé et la zone de pourtour claire qui est fortement carbonatée.

Les essais ont montré que même dans les constructions très anciennes dont le béton est de bonne qualité et la mise en œuvre correcte, aucune diminution de pH susceptible de provoquer la corrosion des armatures ne se produit. Il n'en est pas de même si le béton entourant l'armature est de mauvaise qualité.

Les observations faites sur une très vieille construction (50 ans) ont montré que l'épaisseur moyenne de la zone carbonatée était de 5 cm et ceci indépendamment des structures assez différentes du béton. L'épaisseur la plus faible de la couche carbonatée était de 2 cm tandis qu'en des endroits particulièrement perméables, elle atteignait une épaisseur de 10 cm. La diminution du pH détruit la passivité de l'acier dans le béton ce qui a pu être mis en évidence sur les aciers situés en partie dans la zone carbonatée et en partie dans la zone non carbonatée: les armatures étant très nettement corrodées dans la zone carbonatée et intactes dans l'autre zone.

Pour des bétons ayant environ 30 ans et 10 ans d'âge, la zone carbonatée était respectivement et en moyenne de 4 et de 1,5 centimètres.

De tels essais sont susceptibles d'apporter des indications précieuses dans l'étude des cas de corrosion et il serait souhaitable d'appliquer ou de développer cette méthode lors de l'examen de constructions qui ont subi des dommages.

Résumé

Le rapport, qui a été établi sur la base d'une enquête effectuée dans différents pays, examine en détail les facteurs qui provoquent la corrosion et les dommages en résultant. Il est fait état des principaux moyens à employer pour prévenir ces détériorations. Comme l'enquête le montre, même les ouvrages précontraints, lorsque la réalisation est défectueuse, peuvent subir de graves détériorations dues à la corrosion et le danger est particulièrement grand du fait des sollicitations élevées qui s'y exercent.

Zusammenfassung

Der Bericht, der sich auf eine in verschiedenen Ländern durchgeführte Umfrage stützt, befaßt sich eingehend mit den Ursachen, die zu Korrosions-

schäden geführt haben. Es werden die wichtigsten Maßnahmen erwähnt, die zur Verhütung dieser Schäden getroffen werden müssen. Wie die Untersuchung zeigt, sind auch Spannbetontragwerke bei fehlerhafter Ausführung für Korrosionsschäden sehr anfällig und wegen der hohen Beanspruchungen besonders gefährdet.

Summary

The report, which is based on an inquiry carried out in various countries, discusses in detail the causes which have resulted in corrosion damage. The most important measures that must be taken for the prevention of such damage are enumerated. As the investigation shows, also prestressed concrete structures are highly susceptible to corrosion damage, due to defective construction, and are particularly endangered on account of the considerable stresses to which they are subjected.

Leere Seite
Blank page
Page vide