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

Band: 5 (1956)

Artikel: Processus divers d'altération des ouvrages en béton armé

Autor: Campus, F.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-6121

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 13.07.2025

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

V b 1

Processus divers d'altération des ouvrages en béton armé

Various processes of alteration of reinforced concrete structures

Beschädigung der Bauwerke in Eisenbeton

Diversos processos de alteração das obras de betão armado

PROF. F. CAMPUS
Liège

Dans un rapport présenté au Congrès de Cambridge en 1952, nous avons examiné particulièrement un processus d'altération des ouvrages en béton armé résultant d'actions mécaniques engendrées par les agents atmosphériques et les variations de température. D'après cette explication, la formation des fissures parallèles aux armatures précéderait la corrosion de l'armature; elle serait la cause et non la conséquence de la rouille. Nous l'appellerons processus M. Nous avons indiqué que certains envisageaient une voie inverse, suivant laquelle de l'eau atmosphérique parviendrait aux armatures par percolation, provoquerait la rouille, dont l'expansion engendrerait la séparation de la couverture de béton. Nous l'appellerons processus P.

Récemment, nous avons trouvé un exemple qui s'écarte des deux explications précédentes et qui comporte une dénudation de l'armature par une altération en ordre principal chimique du béton de recouvrement. Nous appellerons ce processus C.

Nous avons immergé en 1934 dans l'avant-port d'Ostende de nombreuses éprouvettes de mortiers, de béton et de béton armé [1]. Un nouveau prélèvement d'éprouvettes a été affectué en septembre 1954.

Il a été procédé lors du prélèvement à l'inspection des éprouvettes de béton armé. Ce sont des cylindres standard américains armés de quatre barres longitudinales de 10 mm de diamètre, distantes de la surface externe du cylindre respectivement de 1, 2, 3 et 5 cm. Ces cylindres ont été confectionnée au moyen de bétons contenant 350 kg par m^3 de ciments différents. Un jeu de cylindres a été exposé à l'atmosphère marine, au- dessus des plus hautes marées. Un autre a été exposé à mi-marée; les cylindres sont immergés et émergés deux fois par jour. Enfin un dernier jeu avait été disposé sous les marées les plus basses; il n'a

malheureusement pas été retrouvé en 1954. On présume qu'il aura été emporté par la marée tempête calamiteuse du 1er février 1953.

En septembre 1945, après onze ans d'exposition, aucune fissuration n'avait été constatée. Seuls les cylindres immergés à mi-marée présentaient quelques altérations superficielles pour les ciments les plus riches en chaux, certains sur une profondeur de 5 à 8 mm, mais aucune barre n'était dénudée. Nous avons déjà fait remarquer que ce résultat était surprenant et en contradiction avec ceux d'essais britanniques effectués à Sheerness [2].

Lors de l'inspection de septembre 1954, les cylindres exposés au-dessus des plus hautes marées étaient toujours indemnes. Pour ceux immergés à mi-marée, les dégradations superficielles étaient légèrement augmentées par rapport à celles constatées en 1945. Il n'y avait pas de fissuration mais dans le cylindre le plus altéré, correspondant au ciment portland le plus riche en chaux, la barre la plus proche de la surface (1 cm) était mise à nu sur 5 cm de longueur environ (figure 1).

Il est à remarquer que l'immersion à mi-marée soumet les éprouvettes aux effets de l'eau marine, des lames, de l'air, du vent, de la pluie, de l'insolation et du gel. Ce sont donc des actions atmosphériques renforcées. Cependant, après vingt années, on n'a pas constaté de traces des processus M et P, qui se manifestent généralement plus tôt sur des constructions aériennes. L'altération d'ordre principalement chimique était déjà manifeste après onze ans; elle aura localement réduit à quelques mm seulement l'épaisseur du béton couvrant l'armature la plus proche de la surface. Dès lors, l'armature presque mise à nu aura été localement attaquée et aura fait sauter la mince pellicule de béton qui la recouvrait encore. Cette dégradation doit naturellement progresser avec le temps, mais dans les conditions où elle a été observée, sur cinq centimètres de longueur seulement, la progression ne semble pas être très active.

Le cas est certes assez particulier, mais il existe et il relève certes du processus C. L'humidité constamment entretenue éliminait le retrait, un agent principal du processus M, que les variations de température et le gel n'ont pas été suffisants à déclencher. Les alternances d'immersion et d'émersion jointes à la nature de l'eau semblaient devoir favoriser le processus P; il ne s'est pas manifesté. Les faibles recouvrements du béton (1 cm = 1 fois le diamètre) n'ont pas été préjudiciables, alors que les spécialistes jugent nécessaire un recouvrement de 4 à 8 cm. (3, b). Le dosage à 350 Kg de ciment par m^3 est inférieur à ce que les spécialistes jugent recommandable [3], [4]. Faut-il admettre comme explication la qualité élevée du béton d'éprouvettes confectionnées au laboratoire? Il faut remarquer qu'il en a été confectionné 54, exposées de manières diverses, et qu'une seule a été dégradée, de la manière indiquée ci-dessus.

Nous avons eu l'occasion d'observer des dégradations survenues à des réfrigérants hyperboliques situés sur un plateau découvert et exposé aux intempéries du nord-est de la Belgique. Moins de huit ans après leur construction, sur toute la surface intérieure se détachent de nombreuses écailles elliptiques, le plus souvent au droit des armatures, mais également là où il n'y a pas d'armatures.

Il n'y a pas de fissures parallèles aux armatures et les écailles de béton portent des traces de rouille très marquées, établissant que l'armature était corrodée avant le détachement de l'écaille. (figure 2). L'épaisseur des parois est de l'ordre de 10 cm, le recouvrement des armatures de 1 cm environ. L'analyse à postériori d'un fragment du béton a donné les résultats suivants :

Jours des tamis (mm)	18,85 ;	9,40 ;	4,70 ;	2,36 ;	1,17 ;	0,589 ;	0,295 ;	0,147
Refus cumulés %	21,5 ;	48,3 ;	63,7 ;	74,8 ;	83,0 ;	91,7 ;	97,9 ;	99,3

Module de finesse 5,80.

La quantité de ciment est, d'après l'analyse, voisine de 250 Kg/m³. La résistance à la compression, mesurée sur une éprouvette cylindrique

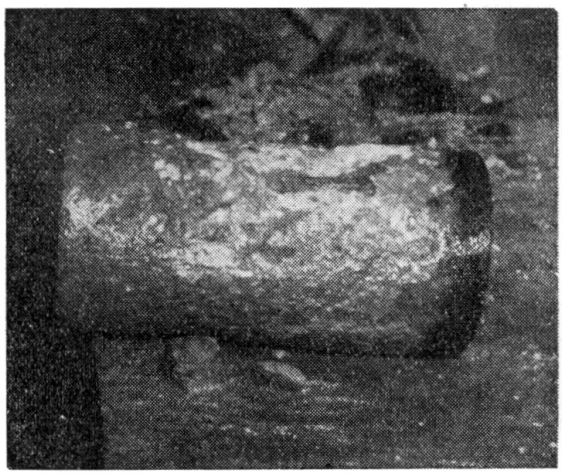

FIG. 1

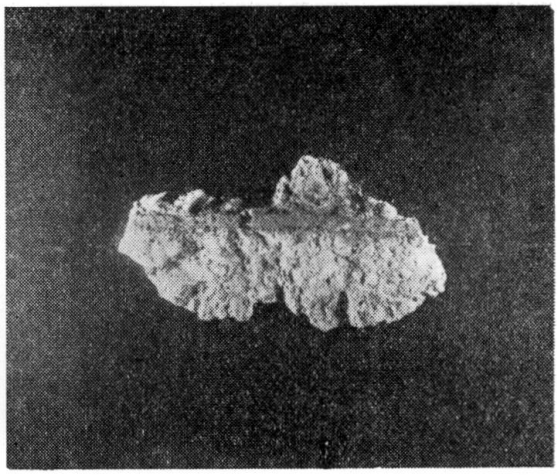

FIG. 2

de 50 mm de diamètre et 50 mm de hauteur a été trouvée égale à 289 Kg/cm².

Selon toutes apparences, on a affaire à un béton assez médiocre, poreux et gélif. La granulométrie n'est pas mauvaise, mais le gravier est plutôt gros (20 % de plus de 20 mm, 50 % de plus de 10 mm). Il en résulte que près des parois internes et externes, le béton est formé des éléments les plus fins. Il est de ce fait plus poreux que la composition moyenne. Les plaques d'écaillage ont l'apparence de mortier, contenant parfois quelques fins graviers de moins de 10 mm. Ainsi qu'il a été indiqué, les dégradations se marquent surtout à la paroi intérieure, mais nous avons constaté qu'elles commencaient à apparaître sous la même forme à la paroi extérieure.

Près des barres, le processus de destruction semble bien être du type P. Mais ce processus ne peut pas expliquer la chute d'écailles là où il n'y a pas de barres (figure 3) ; en ces endroits, les causes ne peuvent être que mécaniques. Le ruissellement de l'eau de condensation à l'intérieur du réfrigérant y maintient une assez grande humidité et une température suffisante pour protéger du gel. L'hétérogénéité du béton en

surface est-elle suffisante pour produire une différence de retrait et des différences de dilatation thermique susceptibles, par effet de répétition et de durée, de produire l'écaillage? Il semble bien que toute réaction des granulats avec le ciment soit exclue. On remarquera que les dégradations ont été assez précoces. Nous avons l'impression que la couche superficielle interne du béton aurait pu être le siège d'une expansion plutôt que d'un retrait.

Enfin, nous avons été informé récemment de dégradations relevées sur des tuyaux circulaires en béton armé d'un vaste réseau de canalisations. Les diamètres varient de 1,10 à 2,40 mètres. Les dégâts, relativement peu importants, concernent surtout des tuyaux fabriqués vers 1931 et mis en oeuvre en 1932. Les plus récents étaient fabriqués en 1938 et mis en oeuvre en 1941-1942. Les dégradations se rencontrent uniquement dans des conduites qui écoulent des eaux assez propres, principalement météoriques. Les canalisations du même réseau qui écoulent des eaux généralement très souillées sont recouvertes d'un enduit organique qui empêche apparemment toute dégradation du béton sous-jacent. Cette pellicule n'existe pas dans les tuyaux dégradés, qui écoulent surtout des eaux météoriques.

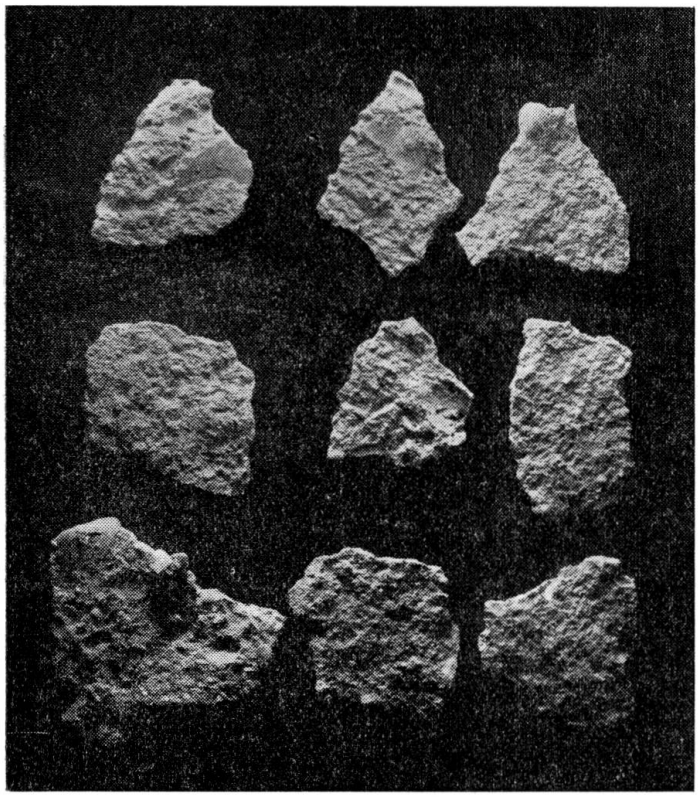

FIG. 3

Les dégradations sont principalement localisées aux hanches, moins à la partie inférieure, presque pas à la partie supérieure.

Dans la canalisation la plus abîmée, une cause spéciale de corrosion a été reconnue; une usine y déverse des eaux très chargées d'acides.

Le béton est attaqué superficiellement (comme l'éprouvette du port d'Ostende). Les tuyaux, fabriqués en 1937 et mis en oeuvre en 1938, ont été confectionnés au moyen d'un ciment spécial réputé résistant aux eaux sulfatées, mais la teneur excessive en acide en a eu raison. (figure 4).

Les fragments superficiels que l'on peut en détacher sont inconsistants et tombent en poussière. Là où la couverture des armatures est inférieure à 1 cm (elle descend parfois à 4 ou 5 mm), l'armature a fina-

lement été attaquée et a fait sauter la pellicule restante de béton de couverture. Il s'agit donc du processus C.

Les autres conduites évacuent des eaux qui ne sont pas agressives et de débit très variable avec les pluies. Il s'agit dans la plupart des cas de tuyaux posés depuis plus de 20 ans, pour d'autres depuis environ 15 ans. Les dégradations se manifestent d'une manière assez analogue à celle des réfrigérants dont il a été question plus haut, mais d'une manière plus continue. (figure 5).

Des écailles de béton se détachent au droit des armatures qui semblent avoir rouillé auparavant; ces écailles sont résistantes, comme celles des réfrigérants (fig. 6). Ces écaillages se produisent aux endroits où les cerces d'armature sont recouvertes de moins de 1 cm de béton (souvent 4 à 5 mm seulement). Il semble donc s'agir du processus P, comme dans le cas des réfrigérants. D'ailleurs ces tuyaux sont enfouis et leur atmosphère intérieure est toujours humide. Ils sont donc soustraits aux variations thermiques et hygrométriques; la seule variation provient du degré de remplissage variable selon le débit des pluies.

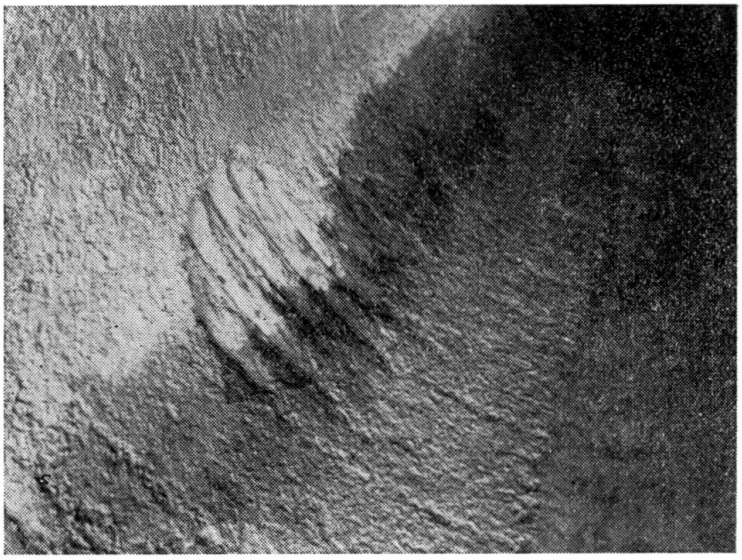

FIG. 4

Tous ces tuyaux sont de fabrication antérieure à 1947. Avant cette date, les dispositions adoptées pour assurer un centrage convenable des armatures dans les moules et une distance suffisante de ces armatures aux parois n'étaient pas efficaces. Le recouvrement théorique était de 20 mm, mais par décentrement de l'armature, il a pu être réduit à 4 ou 5 mm. Il existe encore en dépôt sur un chantier extérieur des tuyaux de cette ancienne fabrication, qui ont été soumis aux intempéries et qui présentent des dégradations surtout aux endroits où l'épaisseur du béton couvrant les armatures est insuffisante. Les principales sont à la paroi extérieure; les dégradations à la paroi intérieure sont moindres et moins fréquentes. On observe des écaillages très étendus au droit des barres, mais aussi des fissures au droit des barres, sans écaillage. Nous avons observé, parmi un groupe d'écailles de béton retirées de conduites en service, une écaille fissurée au droit de l'armature (épaisseur du béton 6 mm environ). Ceci nous fait croire que les processus M et P auraient pu intervenir chacun, éventuellement en combinaison. Depuis

1947, des dispositifs plus efficaces ont été utilisés pour assurer une épaisseur de couverture de 19 à 22 mm selon les cas, près de toutes les parois. Des dégradations n'ont été constatées sur aucun tuyau de cette nouvelle fabrication, plus récente il est vrai. En tous cas il n'est apparu de dégradations qu'aux endroits où les armatures étaient recouvertes de moins d'un centimètre de béton (1). Les nouvelles dispositions adoptées réalisent exactement les épaisseurs de recouvrement de 19 à 22 mm. Le béton des tuyaux est dosé avec précision, mis en oeuvre sec par une vibration bien appliquée en usine. Il n'a pas été constaté de dégradations

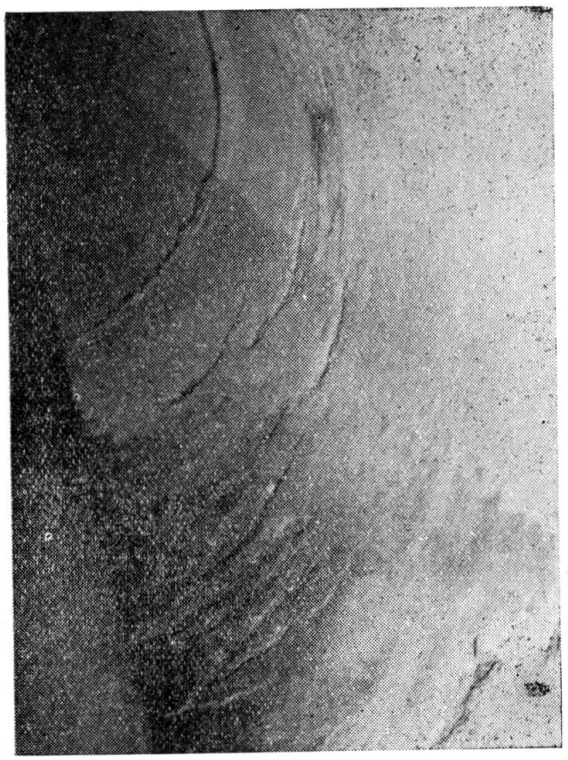

FIG. 5. Les lignes continues du haut de la photographie sont des joints, non des fissures

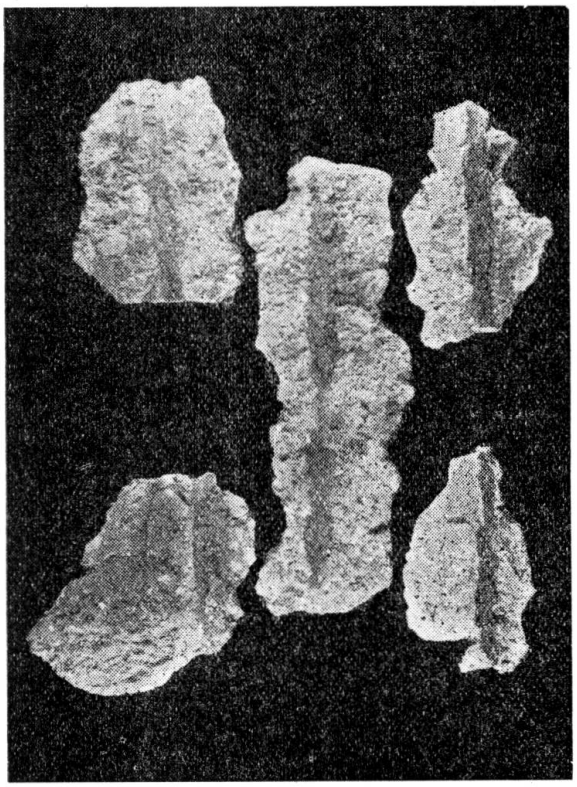

FIG. 6

là où il n'y avait pas d'armatures, sauf le cas exceptionnel des eaux très acides relaté ci-dessus.

En conclusion, il semble donc qu'il n'y ait pas un processus unique de dégradation du béton armé; nous en avons relevé trois ci-dessus:

a) le processus M, caractérisé par l'action d'influences mécaniques entraînant la formation de fissures parallèles aux armatures, par où peut prendre ensuite naissance la corrosion des armatures. Le processus peut résulter d'actions mécaniques proprement dites, indépendantes au milieu [5].

(1) Nous avons cependant observé à la face interne d'un tuyau stocké en plein air au dépôt une fissure, qu'un sondage a révélé située au droit d'une armature, recouverte de 22 mm de béton et assez peu rouillée (figure 7).

b) le processus P, caractérisé par la pénétration de l'eau agressive à travers le béton jusqu'aux armatures. La rouille qui se développe sur celles-ci fait éclater ensuite le béton de couverture sous forme d'écailles ou d'esquilles plus ou moins continues (²).

c) le processus C, caractérisé par une attaque progressive du béton à partir de la surface, qui finit par atteindre l'armature et la fait rouiller, ce qui entraîne sa dénudation mais sans détachement d'éclats ou d'esquilles solides. L'apparence de la dégradation est celle d'un chancre.

FIG. 7

Peut-être existe-t-il des variantes de ces processus. De plus, il nous semble que ces divers processus puissent se combiner d'une manière variable.

Mais dans tous les cas, les dégradations semblent favorisées par une épaisseur insuffisante de béton couvrant les armatures et une qualité insuffisante du béton près de la surface. Il est à remarquer que si le gravier est un peu gros, par effet de paroi la granulométrie du béton à la surface comportera un excés de fin, si même elle ne présente pas de nids de gravier. Il faut qu'il existe une relation entre le recouvrement minimum des barres et l'épaisseur des éléments les plus gros du béton. La surface sera aussi lisse et étanche que possible; depuis longtemps on préconise à cet effet les coffrages métalliques, notamment pour les ouvrages maritimes [3]. La vibration de coffrages paraît favorable aussi, pour autant qu'elle ne puisse favoriser la ségrégation par effet de paroi comme il a été envisagé ci-dessus.

BIBLIOGRAPHIE

1. F. CAMPUS — *Essais sur la résistance des mortiers et bétons à l'eau de mer. Synthèse des résultats de 1934 à 1945.* (Annales des Travaux Publics de Belgique, Bruxelles, n.° 4, août 1947).

(²) Il n'est pas exclu que ce processus caractéristique par son apparence puisse être favorisé par un caractère légèrement expansif du béton de couverture.

2. F. CAMPUS — *Détérioration des constructions en bois, métal ou béton exposées à l'action de l'eau de mer.* Résumé et commentaire du 15e Rapport du Comité Spécial de l'Institution of Civil Engineers de Londres: *Deterioration of structures of timber, metal and concrete exposed to the action of sea-water,* publié sous les auspices du Département de la Recherche scientifique et industrielle à Londres. (Annales des Travaux Publics de Belgique, Bruxelles, n.° 3, juin 1936).
3. F. CAMPUS — XVIIe Congrès international de Navigation, Lisbonne 1949. Section II. Navigation maritime. Communication 2: *Constatations récentes, précautions nouvelles à l'égard de la décomposition des mortiers et bétons dans l'eau de mer.*

   a) Rapports et Rapport Général (Publications du Congrès).
   b) Recommandations et voeux (Compte-rendu des travaux du XVIIe Congrès, Lisbonne, 1949, pp. 261-262).

4. A. COYNE — *Le Pont en béton armé Albert Louppe sur l'Elorn entre Brest et Plougastel* (Le Génie Civil, Paris, n.° 14, 4 octobre 1930, p. 325).
5. F. CAMPUS — *Dégradation des pieux en béton armé par le battage.* (Annales des Travaux Publics de Belgique, Bruxelles, n.° 1, février 1936).

RÉSUMÉ

Les altérations des ouvrages en béton armé peuvent se produire suivant des processus divers. Sur la base de constatations faites sur des éprouvettes et des ouvrages, trois processus distincts sont définis, l'un de caractère mécanique (M), un autre provenant de la porosité ou de la percolation (P), enfin un troisième résultant d'une altération chimique superficielle du béton (C). Ces processus peuvent se combiner.

SUMMARY

Alterations of reinforced concrete structures may follow different processes. Based on conclusions drawn from observations on test pieces and structures, three different processes are defined, one of mechanical character (M), another resulting from the porosity or percolation (P), and a third one resulting from a superficial chemical alteration of concrete (C). These three processes may be combined.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Beschädigung der Bauwerke in Eisenbeton kann aus verschiedenen Vorgängen resultieren.

Auf Grund der Feststellungen an Probekörpern und Bauwerken sind 3 deutlich voneinander verschiedene Vorgänge zu unterscheiden, nämlich einer von mechanischer Art (M), einer der von der Porosität oder der Durchlässigkeit (P) herrührt und endlich sin Dritter, der von einer chemischen Korrosion der Betonoberfläche (C) stammt.

Diese drei Vorgänge können kombiniert auftreten.

RESUMO

As alterações das obras de betão armado podem produzir-se segundo diversos processos. Na base de constatações feitas sobre provetes e obras, definem-se três processos distintos, um de carácter mecânico (M), outro proveniente da porosidade ou da percolação (P), enfim um terceiro resultando duma alteração química superficial do betão (C). Estes três processos podem combinar-se.

Leere Seite
Blank page
Page vide