

Etude expérimentale de la migration de la chaux dans le béton armé

Autor(en): **Robinson, J.R. / Peltier, R.**

Objekttyp: **Article**

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

Band (Jahr): **5 (1956)**

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-6019>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Vb4

**Etude expérimentale de la migration de la chaux
dans le béton armé**

**Experimental investigation on the migration of lime
in reinforced concrete**

Versuche über das Abwandern des Kalkes im Eisenbeton

Estudo experimental da migração da cal no betão armado

J. R. ROBINSON R. PELTIER
Ingénieurs en Chef des Ponts et Chaussées
Service Central d'Etudes Techniques

Paris

1 — C'est un fait d'expérience que les ouvrages en béton armé vieillissent; et la rapidité du vieillissement peut varier considérablement d'un ouvrage à un autre. Ce vieillissement se manifeste par la rouille progressive des armatures, et par l'éclatement du béton au droit des armatures rouillées.

Dans une communication au Congrès de CAMBRIDGE (Rapport final p. 383), l'un de nous a proposé une théorie de la corrosion, ou vieillissement, du béton armé. Celui-ci serait dû à une migration de la chaux libre du béton.

On sait, en effet, que c'est la chaux libre du béton, dégagée par certains ciments pendant leur prise, qui protège, par son ambiance basique, les armatures contre la rouille. Des expériences récentes ont été faites à ce sujet au Laboratoire Central des Ponts et Chaussées à Paris, en noyant des armatures d'acier dans des éprouvettes de béton ⁽¹⁾ confectionnées avec différents types de ciment, en faisant varier la nature et le dosage du ciment, ainsi que le mode de conservation des éprouvettes. C'est ainsi que certaines éprouvettes étaient conservées dans l'air ambiant, d'autres étaient immergées dans l'eau douce, d'autres enfin étaient con-

⁽¹⁾ Ces éprouvettes prismatiques à section carrée de 10 cm de côté étaient armées d'un acier axial de 20 mm de diamètre.

servées dans la salle de brouillard du laboratoire, c'est-à-dire dans une salle à hygrométrie maximum (95 % au moins) et à température réglée à: 20 ± 1 degré centigrade.

Après destruction du béton des éprouvettes âgées d'un an, on a examiné leurs armatures. Les attaques de rouille, lorsqu'elles s'étaient produites, étaient nettement visibles, car on avait pris soin, en confectionnant les éprouvettes, d'utiliser des armatures bien propres et fraîchement décapées au jet de sable de toutes taches de rouille. On a observé alors que toutes les éprouvettes conservées dans l'air ambiant d'une salle du laboratoire (donc à l'abri de la pluie et dans une atmosphère assez sèche), étaient absolument indemnes de rouille. Il en était de même des éprouvettes conservées dans l'eau.

Seules, les éprouvettes conservées dans l'air humide ont présenté des traces d'attaque de rouille, et ces traces variaient considérablement suivant la nature du ciment. Les éprouvettes en ciment sursulfaté étaient de beaucoup les plus attaquées, la rouille couvrant complètement les armatures. De même, les éprouvettes en ciment de laitier à forte teneur en laitier ont présenté de larges taches de rouille. Celles-ci étaient faibles avec le ciment métallurgique mixte (contenant 50 % de laitier); et étaient nulles ou presque avec les ciments de fer (30 % de laitier), le ciment Portland C. P. B. (10 % de laitier) et le ciment Portland C. P. A., qui ne contient pas du tout de laitier.

Ces trois derniers types de ciment sont les seuls de tous ceux essayés à dégager de la chaux libre lors de la prise; ce qui confirme bien l'action anti-rouille de cette chaux libre.

2 — Toutefois, dans un ouvrage réel, exposé aux intempéries, la chaux libre du ciment est susceptible d'émigrer vers la paroi et l'extérieur des pièces en béton armé. En effet, l'eau de pluie, particulièrement pure, qui tombe sur l'ouvrage, pénètre par capillarité dans le béton, et y dissout plus ou moins entièrement la chaux libre. Lorsqu'une période de sécheresse succède à la pluie, l'eau est attirée vers l'extérieur par l'évaporation. Elle circule alors en sens inverse en entraînant, dans son mouvement, la chaux libre qu'elle a dissoute, et dépose celle-ci vers la périphérie des pièces, où elle ne tarde pas à se carbonater. On conçoit qu'après plusieurs alternances d'humidité et de sécheresse, l'intérieur des poutres en béton armé puisse être trop pauvre en chaux libre pour protéger les aciers contre la rouille. D'où le vieillissement progressif des ouvrages en béton armé.

Il est à noter d'ailleurs que les armatures jouent un rôle d'écran, vis-à-vis du mouvement de migration de la chaux libre. Elles protègent ainsi derrière elles une portion plus ou moins grande de béton; par contre, devant elles, c'est-à-dire entre elles et la paroi de la poutre, le béton est beaucoup plus exposé à un appauvrissement en chaux, puisqu'il est fortement délavé, et n'est pas réalimenté en chaux libre venant de l'intérieur. C'est pour cette raison que l'on observe souvent, dans les ouvrages réels vieillis, que la face des armatures tournée vers l'extérieur est fortement rouillée, alors que la face interne est intacte.

Cette théorie de la migration de la chaux est d'une importance capitale pour l'étude du vieillissement des ouvrages en béton armé et pour la recherche des moyens de lutte contre ce vieillissement. Aussi, le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées a-t-il entrepris des essais de longue durée, pour la vérifier, et pour déterminer l'action des différents facteurs qui peuvent intervenir dans le phénomène. Ce n'est que lorsque l'on connaîtra bien l'influence de ces facteurs que l'on pourra étudier efficacement les moyens de réduire ou de supprimer complètement ce phénomène, ou tout au moins ses effets néfastes.

3 — Bien que les essais aient été pratiquement commencés en Octobre 1954, ils n'ont encore fourni que peu de résultats, car ayant nécessité une assez longue mise au point des méthodes d'essais. Ces résultats partiels sont toutefois très concluants, et il a paru intéressant de les indiquer ici. Ils seront d'ailleurs complétés dans les prochains mois, grâce aux nombreux essais mis en train, à la suite de la mise au point des premiers.

Ces premiers essais ont porté sur des éprouvettes cylindriques de 10 cm. de diamètre et de 12 cm. de hauteur, confectionnées avec le mortier suivant :

— Sable de Fontainebleau... ..	100 kg.
— Ciment Portland (C. P. A.)... ..	25 kg.
— Eau	12,5 litres.

(On a en effet jugé préférable, pour ces premiers essais, d'opérer sur un mortier fin régulier et poreux, plutôt que sur un béton. Il s'agissait d'ailleurs principalement de mettre au point la méthode d'essai, et notamment les dosages chimiques très délicats.)

Des éprouvettes identiques de ce type ont ainsi été confectionnées. Au bout d'un mois de conservation dans la salle de brouillard du laboratoire, l'une d'elles, que nous appellerons : E, a été immergée dans de l'eau sous une cloche à vide, puis mise à sécher pendant quelques jours dans une étuve à 75°. L'autre éprouvette, que nous appellerons : T, n'a subi aucun traitement, c'est l'éprouvette témoin.

Les deux éprouvettes ont alors été cassées perpendiculairement à leur axe. On a tout d'abord constaté qu'elles présentaient des aspects différents.

L'éprouvette E comportait trois zones concentriques :

- une couronne extérieure, gris foncé, d'environ 7 mm. de large ;
- un liseré circulaire intermédiaire, blanc, d'environ 3 mm. ;
- une région interne d'aspect uniforme gris clair.

L'éprouvette T comportait une couronne extérieure gris foncé de 15 à 20 mm. de large, et un noyau intérieur plus clair.

Plusieurs prélèvements ont été effectués dans chacune des régions présentant un aspect différent; et on a déterminé sur chacun d'eux:

- La teneur en carbonates (par calcimétrie) exprimée en CO^3Ca .
- La teneur en chaux totale (méthode de Longuet-Burglen).
- La teneur en chaux libre (méthode de Bogue).

Les résultats sont indiqués dans le tableau ci-joint; ils sont exprimés en grammes pour 100 grammes de mortier.

Il semble que l'on puisse considérer ces valeurs comme exactes à: 0,5 gr. près en ce qui concerne la chaux totale, et à: 0,2 gr. près en ce qui concerne la chaux libre. Mais il ne s'agit là que de dispersion de la mesure; il s'y ajoute, en fait, dans les résultats du tableau ci-joint, la dispersion due à l'hétérogénéité du matériaux. Ce n'est qu'en opérant sur de nombreuses éprouvettes que l'on parviendra à éliminer cette dernière.

Ces résultats mettent nettement en évidence la migration de la chaux libre du centre de l'éprouvette vers l'extérieur. Cette migration est, bien entendu, beaucoup plus forte avec l'éprouvette E soumise à un cycle immersion-séchage, qu'avec l'éprouvette T qui n'a été soumise qu'à son séchage naturel.

On voit, d'autre part, que la carbonatation progresse en sens inverse de la migration de la chaux libre.

4 — Ces essais ayant démontré la réalité du phénomène, de nouveaux essais, beaucoup plus importants, ont été entrepris pour l'étudier dans le détail. Ils ont comporté la confection de nombreuses éprouvettes de béton et de mortier, en faisant varier la composition du béton ou du mortier, son dosage en ciment, et sa compacité.

Ces éprouvettes sont soumises à des cycles climatiques comportant des alternances de pluie et de sécheresse. La pluie est réalisée à l'aide d'eau dégazée et déminéralisée, qui tombe finement pulvérisée sur les éprouvettes. Après des durées de pluie variables, les éprouvettes sont séchées à l'étuve à diverses températures.

D'autres essais sont entrepris, à l'aide de calcium 45, c'est-à-dire d'un isotope du calcium naturel. On utilise ainsi la méthode des «atomes marqués», qui est particulièrement aisée dans ce cas, puisque ce calcium 45 est assez inoffensif, et que sa durée de vie, assez longue, est bien adaptée à la durée de l'essai. Dans cette méthode, un ciment est fabriqué avec de la chaux irradiée dans une pile atomique; et des éprouvettes de béton ou de mortier sont fabriquées avec ce ciment comme avec un ciment normal. En coupant l'éprouvette, et en appliquant sur cette face coupée un papier photographique, on obtient alors une image de la répartition des atomes de calcium. Cette méthode est particulièrement utile pour l'étude de l'effet d'écran des armatures; elle donne une image claire du phénomène, mais nécessite toujours un étalonnage préalable par la méthode chimique classique. Elle ne donne d'ailleurs que la chaux totale, et non pas la chaux libre.

Ces nouveaux essais ne sont toutefois pas encore assez avancés pour que des résultats intéressants puissent en être extraits. Mais nous

espérons bien pouvoir en exposer les résultats détaillés au prochain Congrès de l'A. I. P. C.

Chaux et carbonates	Eprouvette E			Eprouvette T	
	Zone intérieure	Liseré blanc	Couronne extérieure	Zone intérieure	Zone extérieure
CaO totale = t	10,90	10,80	12,03	10,25	10,25
Carbonates exprimés en CO ³ Ca	2,32	7,42	9,82	2,32	5,33
CaO carbonatée = c (par calcul)	1,30	4,15	5,50	1,30	2,99
CaO libre = l (éthylène-glycol)	3,42	0,62	0,35	2,49	1,86
CaO libérée = c + l	4,72	4,77	5,85	3,79	4,85
CaO restée dans silicates et aluminates s = t - (c + l)	6,18	6,03	6,18	6,46	5,40

R É S U M É

Une théorie publiée au Rapport final du Congrès de CAMBRIDGE (p. 383), explique la corrosion du béton armé par la migration de la chaux du béton. La présente communication décrit les expériences entreprises pour vérifier cette théorie. Les premières de ces expériences mettent bien en évidence la réalité du phénomène de migration de la chaux.

Des essais plus étendus sont en cours dont on espère pouvoir rendre compte au Congrès de LISBONNE de l'A. I. P. C.

S U M M A R Y

Corrosion in reinforced concrete was explained in a theory published in the Final Report of the Cambridge Congress (page 383) by the migration of the lime contained in the concrete. The authors describe the experimental investigation carried out in order to verify this theory. The first series of tests confirms the existence of the lime-migration phenomenon.

Another series of more complete tests is in progress and the authors hope to report on them at the I. A. B. S. E. Congress in Lisbon.

ZUSAMMENFASSUNG

Eine im Schlussbericht des Kongresses von Cambridge (S. 383) erschienene Theorie erklärt die Korrosion des Eisenbetons durch das Abwandern des Kalkes aus dem Beton. Der vorliegende Beitrag beschreibt die unternommenen Untersuchungen für die Rechtfertigung dieser Theorie. Die ersten Ergebnisse zeigen augenscheinlich das Vorhandensein einer solchen Kalkabwanderung.

Ausgedehntere Versuche sind noch im Gang, über die voraussichtlich am Kongress der IVBH in Lissabon berichtet werden kann.

RESUMO

Numa teoria incluída na Publicação Final do Congresso de Cambridge (pág. 383) explicava-se o fenómeno da corrosão no betão armado pela migração da cal contida no betão. Os autores descrevem ensaios efectuados no intuito de verificar essa teoria. A primeira série de experiências põe em evidência a realidade do fenómeno da migração da cal.

Estão em curso ensaios mais completos que os autores esperam poder descrever durante o Congresso de Lisboa da A. I. P. E.