

UNIVERSITE DE LIEGE

Faculté des Sciences Appliquées
Cours de Constructions du Génie Civil

N° 137

ESSAIS ET RECHERCHES RELATIFS AU COMPORTEMENT
DES CIMENTS DANS LES OUVRAGES A LA MER

Rapport d'une enquête internationale
de la R.I.I.F.M.

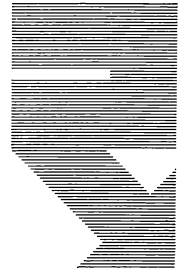
par

F. CAMPUS

Recteur honoraire de l'Université de Liège

Extrait de " MATERIAUX ET CONSTRUCTIONS "

Vol:3, No 14, 1970



**Rapport sur les résultats
d'une enquête internationale
de la RILEM
sur les essais et recherches
relatifs au comportement
des ciments
dans les ouvrages à la mer**

**Report on the results
of an international survey
by RILEM
on testing and research
concerning the behaviour
of cements in sea water**

En 1965, la RILEM a organisé un Colloque sur les bétons exposés à l'eau de mer, qui a eu lieu à Palerme, sous le patronage de l'AIPCN (Association Internationale Permanente des Congrès de Navigation). Des contacts ont été établis en 1967 entre la RILEM et l'OCDE (Organisation de Coopération et de Développement Économique), dont le Groupe exploratoire pour la protection du béton en milieu marin s'était réuni à Paris le 19 avril 1967.

Il a été demandé à la RILEM :

1. De faire la synthèse des différents processus d'essais utilisés dans les laboratoires.
2. D'étudier une méthodologie commune en vue d'essais comparatifs.

En conséquence, la Commission plénière RILEM « Essais des Ciments et des Bétons » a décidé lors de ses réunions des 18 et 19 mars 1968 à Madrid de procéder à une enquête internationale sur le comportement des ciments dans les ouvrages à la mer. Pour assurer le succès de cette enquête, le Secrétaire général de la RILEM a obtenu encore la patronage et l'assistance de l'Association Internationale Permanente des Congrès de Navigation (AIPCN).

Un questionnaire a été envoyé aux délégués de la RILEM dans tous les pays membres.

In 1965, RILEM had organised a symposium on Concrete in Sea Water, which was held in Palermo under the sponsorship of PIANC (Permanent International Association of Navigation Congress). Contact was established in 1967 between RILEM and OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) whose Exploratory Group on the protection of concrete in marine environments had met in Paris on April 19th 1967.

RILEM was asked:

- 1. To prepare a synopsis of the different testing methods used in laboratories,*
- 2. To devise a common technique for conducting comparative tests.*

Consequently, the plenary RILEM committee " Testing of Cements and Concretes " decided at its meeting of March 18 and 19, 1968 in Madrid, to proceed with an international survey on the behaviour of cements in marine structures.

In order to ensure the success of this survey, the Secretary General of RILEM obtained again the sponsorship and the assistance of the Permanent International Association for Navigation Congress (PIANC).

A questionnaire was sent to RILEM delegates in the member countries.

QUESTIONNAIRE

Question 1. — Quelles sont les études effectuées au cours des vingt dernières années ou en cours dans votre pays au sujet du comportement des ciments, des mortiers ou des bétons soumis aux actions de la mer :

A. — *Sur des ouvrages, éléments ou éprouvettes exposés aux actions réelles de la mer?*

— Indiquer les lieux et les caractéristiques locales (régimes des marées, des vents, de la salinité, des courants, des houles ou vagues, du climat, etc.).

— Décrire les conditions d'expérience et les résultats déjà recueillis; le cas échéant, joindre un exemplaire des publications déjà faites.

B. — *Dans les laboratoires?*

Décrire les conditions et les dispositifs d'expérience, indiquer les résultats déjà obtenus et, le cas échéant, joindre un exemplaire des publications déjà faites.

Question 2. Quelles sont les méthodes usitées dans votre pays pour l'agrément, la réception et le contrôle des ciments utilisés pour les ouvrages à la mer, ainsi que pour contrôler la composition et les qualités requises des mortiers et des bétons entrant dans la composition de ces ouvrages?

Question 3. Pour autant que cela ne soit déjà indiqué dans la réponse au point 2, pratique-t-on dans votre pays l'emploi de ciments de compositions spéciales ou l'addition de produits spéciaux, naturels ou fabriqués, destinés à conférer aux mortiers et bétons une résistance satisfaisante à l'action agressive des eaux marines? Le cas échéant, quelles sont les méthodes employées pour l'agrément, la réception et le contrôle de ces ciments et produits d'addition spéciaux?

JUSTIFICATION DU QUESTIONNAIRE

Question 1. La période de vingt ans a été adoptée pour les raisons suivantes. L'AIPCN avait inscrit à l'ordre des travaux de son XVII^e Congrès à Lisbonne en 1949 la question suivante: « Constatations récentes, précautions nouvelles à l'égard de la décomposition des mortiers et bétons dans l'eau de mer ». Plusieurs rapports ont été imprimés; la discussion et des recommandations figurent au Compte Rendu des travaux du Congrès [1] (p. 252 à 262). Il était donc inutile de comprendre dans l'enquête des études antérieures à ce Congrès.

Les travaux du Congrès précité ainsi que ceux du Colloque RILEM sur les « Bétons à l'eau de mer » organisé à Palerme en 1965 montrent l'importance de bien définir les caractéristiques locales dans les études *in situ* de la tenue des ciments dans l'eau de mer.

Question 2. La RILEM, en accord avec d'autres organisations, telles que Cembureau, l'ISO, etc., a fait étudier par sa Commission « Essais des ciments et bétons » les méthodes d'essai fondamentales et communes des ciments et des bétons. Ces études ont déjà abouti à la méthode RILEM — Cembureau d'essai des propriétés mécaniques des ciments, aux Recommandations RILEM pour l'essai des bétons sur les chantiers. D'autres sont en préparation, par exemple, pour les mesures de consistance des bétons, etc. En conséquence, l'enquête ne devait se rap-

QUESTIONNAIRE

Question 1. *What are the studies that have been carried out during the past twenty years or that are now in progress in your country relative to the behaviour of cements, mortars and concretes exposed to the action of sea water.*

A. — *On works, elements or test pieces exposed to the real action of the sea?*

Indicate the places and the local characteristics (nature of the tides, salinity, currents, waves, climate, etc.). Describe the experimental conditions and the results already obtained, submitting a copy of such publications as have already been made.

B. — *In laboratories?*

Describe the experimental conditions and devices, indicate the results already obtained and submit a copy of such publications as have already been made.

Question 2. *What are the methods used in your country for the approval, acceptance and control of cements used for works exposed to sea water, as well as to check the composition and the qualities required of mortars and concretes entering into the composition of such works?*

Question 3. *In so far as it is not already indicated in the answer to point 2, is there recourse in your country to the use of cements of special composition or to the addition of special products, natural or manufactured, intended to give mortars and concretes a satisfactory resistance to the aggressive action of sea water? If so, what are the methods used for the approval, acceptance and control of such cements and especially added products?*

JUSTIFICATION OF THE QUESTIONNAIRE

Question 1. *The period of twenty years has been adopted for the following reasons: PIANC had included in the agenda of its XVIIth Congress in Lisbon in 1949 the following subject: "Recent observations, new precautions regarding the decomposition of mortars and concretes in sea water". Several papers were submitted and the discussions and recommendations appear in the Proceedings of the Congress [1] (pages 252 to 262).*

*It was thus pointless to include in the survey studies which had been completed before the Congress. The proceedings of this Congress, as well as those of the RILEM symposium on "Concrete in Sea Water" organised in Palermo in 1965, point out how important it is to define closely the local characteristics in the *in situ* studies of the behaviour of cements in sea water.*

Question 2. *RILEM, in co-operation with other organisations such as Cembureau, ISO etc, has entrusted its Committee "Testing of Cements and Concretes" with the study of the fundamental and common testing methods of cements and concretes. Significant results have already been obtained, namely the RILEM-Cembureau Method of Testing the Mechanical Properties of Cements and the RILEM Recommendations for the Testing of Concrete in the Field. Other recommendations are in progress, for example, for the measurement of the consistency of concrete, etc.*

porter qu'aux essais spéciaux éventuellement utilisés pour sélectionner des ciments considérés comme particulièrement propres pour les ouvrages à la mer, ainsi que pour définir les mortiers et les bétons considérés éventuellement comme particulièrement propres pour ces ouvrages.

Question 3. L'intérêt marqué en 1949 par l'AIPCN à la décomposition des mortiers et bétons par l'eau de mer et aussi à leur indécomposabilité provenait en grande partie de l'apparition, après la seconde guerre mondiale, de nouveaux produits des industries cimentières de divers pays, qui revendiquaient des propriétés particulières de résistance à l'action marine. Depuis lors, ces ciments nouveaux ont pu subir l'épreuve du temps, être éventuellement agréés ou normalisés, être devenus d'usage plus ou moins courant pour les ouvrages à la mer. Il a pu en être de même pour des produits d'addition, tels que des pouzzolanes naturelles ou artificielles, et plus récemment d'adjuvants. L'enquête ne devait porter que sur les caractères particuliers de ces ciments, produits d'addition et adjuvants, en rapport avec leur emploi dans les mortiers et bétons pour les ouvrages à la mer. Il convient de rappeler que les questions et méthodes d'essai générales relatives aux adjuvants ont fait l'objet d'un Colloque RILEM en 1967 à Bruxelles.

PARTICIPATION A L'ENQUÊTE

(par ordre alphabétique)

1. Dans l'hémisphère Nord

Belgique, Canada, États-Unis d'Amérique, Finlande, France, Grèce, Israël, Japon, Norvège, Pays-Bas, Portugal, République Fédérale Allemande, Royaume-Uni.

2. Dans l'hémisphère Sud

Australie, République d'Afrique du Sud.

Le déséquilibre entre les deux hémisphères confirme une remarque du rapport général du thème III du Colloque RILEM sur les « Bétons à la mer » à Palerme en 1965 [2].

TRAITEMENT DES RÉSULTATS DE L'ENQUÊTE

La dernière réponse a été reçue à la fin de juin 1969.

Le projet de rapport a été dressé par le Prof. F. CAMPUS. Il a été envoyé en photocopie à M. J. BROCARD (Paris), au Dr. L. H. EVERETT (Garston) et au Prof. K. WESCHE (Aachen), pour examen. Il a été également transmis pour information au Président du Comité technique RILEM sur la durabilité du béton, M. l'Ing.-Dr. O. VALENTA (Prague). Les personnes précitées se sont réunies le 24 octobre 1969 à Ostende, pour arrêter les termes du rapport. M. J. BROCARD était représenté à cette réunion par M. L. VIRONNAUD. La version anglaise du rapport a été revue par le Dr. H. L. EVERETT.

Les réponses sont examinées pour l'hémisphère Nord par ordre décroissant d'agressivité marine, c'est-à-dire en principe du Nord vers le Sud, sauf pour la Baltique, dont la salinité est très faible. On fait cependant exception en examinant en premier lieu les réponses des États-Unis d'Amérique et de la France, pour les raisons suivantes. Les États-Unis sont non seulement bordés par deux océans, mais surtout l'étendue de leurs côtes, tant atlantique que

In consequence, the survey should be restricted to the special tests eventually used for the selection of cements considered as particularly suitable for marine structures; also to define the mortars and concretes considered as particularly suitable for such structures.

Question 3. *The interest shown by PIANC in 1949 on the deterioration of mortars and concretes by sea water and consequently in their durability arose mainly from the appearance after the Second World War of several products of the cement industries of various countries, which claimed specific resistance to the action of sea water. Since that time, these new cements have been subjected to the test of time, have been subsequently accepted or standardised and more or less widely used for marine structures. The same situation may exist for additives such as natural or synthetic pozzolans and more recently with the so-called admixtures. The survey should be restricted to the specific characteristics of these cements and admixtures in regard to their use in mortars and concretes for marine structures. It may be recalled that the general questions and testing methods concerning admixtures was the purpose of a RILEM Symposium in 1967 at Brussels.*

PARTICIPANTS TO THE SURVEY

(in alphabetical order)

1. Northern Hemisphere

Belgium, Canada, Finland, France, German Federal Republic, Greece, Israel, Japan, Netherlands, Norway, Portugal, United Kingdom, United States of America.

2. Southern Hemisphere

Australia, Republic of South Africa. The unbalance between the two hemispheres confirms a remark in the General Report of Question III of the RILEM Symposium on "Concretes in Sea Water" in 1965 at Palermo [2].

TREATMENT OF THE RESULTS OF THE SURVEY

The final reply to the questionnaire was received at the end of June 1969. The draft report was produced by Professor F. Campus and copies sent to Monsieur J. Brocard (Paris), Dr. L. H. Everett (Garston) and Professor K. Wesche (Aachen) for comment. A photocopy was also sent for information to the Chairman of the RILEM Technical Committee for the durability of concrete, Dr. Eng. O. Valenta (Prague). These correspondents met on October 24 in Ostend in order to check the text of the report. At this meeting, Monsieur J. Brocard was represented by Monsieur L. Vironnaud. The English version of the report was revised by Dr. L. H. Everett.

For the Northern Hemisphere, the replies will be considered following the order of decreasing marine aggressivity, that is from North to South generally except for the Baltic, where the salinity is low. However the replies from the USA and from France will be considered first for the following reasons. The USA is not only bordered by two oceans, but moreover, the length of the coastline, Atlantic as well as Pacific, is so

pacifique, est telle que les conditions extrêmes d'agressivité y sont réalisées au Nord et au Sud. La France a une assez longue côte atlantique mais aussi une côte méditerranéenne assez étendue, où les conditions d'agressivité sont différentes. En outre, ce pays possède la réglementation la plus ancienne et la plus développée en ce qui concerne les ciments pour l'emploi à la mer.

HÉMISPHERE NORD

ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE

Correspondants : J. R. WRIGHT, Chef de la Division de la construction du Bureau national des Normes du Département du Commerce des États-Unis, délégué de la RILEM pour les États-Unis, Washington, D.C.

F. P. KOISCH, Directeur des Travaux civils, Office du Chef des Ingénieurs, Département de l'Armée des États-Unis, Washington, D.C.

M. J. SNYDER, Chef de la Division de recherches céramiques, Institut Battelle Memorial, Laboratoires de Colombus, Colombus (Ohio).

Question 1A. Le Corps des Ingénieurs de l'Armée des États-Unis a des stations permanentes d'exposition à mi-marée à Treat Island, Maine, et à St. Augustine, Floride. La première est dans une région à climat froid sévère, dans une baie de l'Océan Atlantique. La dernière est dans un climat chaud de l'Atlantique. La Portland Cement Association a une installation semblable au Port de Los Angeles (Océan Pacifique, climat tempéré) et a des pieux d'essai à Cape Cod, Mass. (Océan Atlantique, climat froid), à St. Augustine (Floride) et à Newport Beach (Océan Pacifique, climat tempéré). La salinité est similaire en tous ces endroits. Les installations sont protégées d'une action vigoureuse des vagues.

Références bibliographiques : [3] à [6] inclusivement.

Question 1B. Des recherches ont été effectuées par le Corps des Ingénieurs, la Portland Cement Association et plusieurs départements de voirie d'états côtiers.

Références bibliographiques : [7] et [8].

Question 2. Les principaux facteurs relatifs à l'exposition à l'eau de mer qui sont contrôlés d'une manière quelque peu différente que pour les bétons qui n'y sont pas exposés sont :

1° l'exigence que le ciment satisfasse aux limites prescrites par l'ASTM ou les Spécifications fédérales des États-Unis pour le ciment type II, dans le but de conférer une résistance modérée aux sulfates en exigeant que la proportion de C_3A calculée par l'analyse chimique ne dépasse pas 8 %;

2° l'exigence que les armatures de renforcement aient un recouvrement un peu plus grand d'un béton ayant un facteur eau-ciment un peu inférieur à ce qui serait permis en l'absence d'eau de mer.

Il est généralement recommandé qu'en cas d'exposition à l'eau de mer, tous les aciers soient recouverts d'au moins 76 mm (3 pouces) de béton aux surfaces exposées et d'au moins 102 mm (4 pouces) aux arêtes.

Question 3. Il n'est pas de pratique courante dans ce pays de considérer que le béton de ciment Portland et le mortier de ciment Portland demandent

large that extreme conditions of aggressivity are found in the North and South. France has a long Atlantic coastline but also a Mediterranean coastline of considerable length where the conditions of attack are different. Furthermore, this country has the most developed and the oldest regulations concerning the use of cement in sea water.

NORTHERN HEMISPHERE

UNITED STATES OF AMERICA

Correspondents: J. R. Wright, Chief, Building Research Division, National Bureau of Standards, US Department of Commerce. RILEM delegate in the USA Washington, DC.

F. P. Koisch, Director of Civil Works, Office of the Director of Engineering, US Department of the Army, Washington, DC.

M. J. Snyder, Chief, Ceramics Research Division, Battelle Memorial Institute, Columbus Laboratories, Columbus, Ohio.

Question 1A. The Corps of Engineers, USA Army, maintains exposure racks at midtide at Treat Island, Maine, and at St Augustine, Florida. The former is in an area of severe cold weather in a bay of the Atlantic Ocean. The latter is a warm weather exposure station on the Atlantic coast. The Portland Cement Association has a similar installation in Los Angeles Harbour (Pacific Ocean, mild climate) and has test-pile locations at Cape Cod, Massachusetts (Atlantic Ocean, cold climate), St Augustine, Florida and Newport Beach, California (Pacific Ocean, mild climate). The salinity is similar in all locations. All the installations are protected from vigorous wave action.

Bibliography: [3] to [6] inclusive.

Question 1B. Work has been carried out by the Corps of Engineers, Portland Cement Association and several Highway Departments in the coastal States.

Bibliography: [7] and [8].

Question 2. The principal factors relating to sea water exposure that are controlled somewhat differently than in the case of concrete not to be so exposed are:

(1) the requirement that the cement comply with the limitations for type II cement of either the ASTM or US Federal Specifications, which is intended to yield moderate sulphate resistance primarily by requiring that the C_3A content, as calculated by chemical analysis does not exceed 8 %;

(2) the requirement that the reinforcing steel have somewhat greater cover of somewhat lower water-cement ratio concrete than might be permitted in the absence of sea water exposure.

It is usually recommended that in sea water exposure all steel should be at least 3 in. (76 mm) from exposed surfaces and at least 4 in. (102 mm) from corners.

Question 3. It is not general practice in the USA to regard Portland cement mortar as requiring cement

un ciment de composition « spéciale » ou l'addition de produits spéciaux en vue de résister à l'action agressive de l'eau de mer, pourvu, comme indiqué plus haut, que le ciment satisfasse aux conditions du type II et soit donc modérément résistant aux sulfates et que le béton soit de relativement haute qualité, résultant de l'emploi de matériaux satisfaisant aux spécifications applicables, convenablement proportionnés pour un facteur eau-ciment relativement bas. Il est cependant généralement admis, toutes autres choses égales, que l'emploi de pouzzolanes comme additifs permet d'espérer un certain bénéfice de garantie supplémentaire de l'insensibilité à l'action agressive chimique du béton exposé à l'eau de mer. Sous ce rapport, on peut se référer au rapport du Comité 212 de l'American Concrete Institute sur les adjuvants et particulièrement à la partie de ce rapport concernant les pouzzolanes, publiée dans les *ACI Proceedings*, vol. 60, novembre 1963, p. 1505-1511. A la page 1510, il est fait mention de différents ouvrages qui synthétisent les connaissances existantes sur l'emploi de pouzzolanes dans le béton exposé à l'eau de mer et à d'autres eaux sulfatées. Il est à noter que certaines pouzzolanes, contenant des quantités importantes d'aluminates chimiquement actifs, peuvent réduire la résistance de bétons confectionnés avec des ciments résistants aux sulfates à l'action de solutions sulfatées agressives. Lorsque des pouzzolanes sont employées comme ingrédients du béton, elles doivent généralement satisfaire aux spécifications correspondantes de l'ASTM ou d'un utilisateur important, tel que le Corps des Ingénieurs de l'Armée des États-Unis ou le Bureau de récupération de sol des États-Unis. Ces spécifications n'exigent pas actuellement une évaluation de la capacité de la pouzzolane d'augmenter la résistance du béton aux sulfates.

Commentaires. Au sujet de la Question 1A, les références bibliographiques [3] et [4] ont été jointes à la réponse. Les intéressantes indications qui suivent en sont extraites.

La station d'exposition climatique sévère de Treat Island (Maine) a été établie en 1936. Elle consiste en une plateforme établie à mi-marée. Le marnage moyen est de 5,50 m (18 pieds); valeurs extrêmes environ 8,55 m (28 pieds) et 3,96 m. (13 pieds).

Salinité : 35,275 g/l (1959).

Température moyenne dans l'eau : 2,8 °C (37 °F).

Température minimale dans l'air : -23,4 °C (-10 °F).

Un thermomètre enregistreur est placé dans l'axe d'une éprouvette de béton. Un cycle gel-dégel résulte du jeu de la marée et porte le centre des éprouvettes en-dessous de -2,2 °C (28 °F) lors de l'immersion et bien au-dessus lors de l'émersion. De 1940 à 1958, il y a eu en moyenne 130 cycles de gel-dégel par hiver. Un indice de gel est calculé.

La mesure de la dégradation des éprouvettes est faite par la mesure de la fréquence fondamentale de vibration transversale, d'où l'on déduit le module d'élasticité dynamique. La dégradation est exprimée par le rapport en % du module après une certaine durée d'exposition au module initial; lorsque ce rapport est inférieur à 50 % on considère que l'éprouvette est devenue défectueuse.

Pour les éprouvettes de taille suffisante, on utilise aussi la mesure de la vitesse de propagation des ébranlements. Le coefficient de dégradation est le rapport du carré de cette vitesse après exposition

of "special" composition or requiring the addition of special products in order to resist the aggressive action of the sea water. This assumes, as mentioned above, that the cement complies with the requirements for type II cement and the concrete is of relatively high quality produced from materials complying with the appropriate specifications and having been correctly proportioned to give a relatively low water/cement ratio. It is generally agreed, however, other factors being equal, that the use of pozzolans as admixtures would be expected to be of some benefit in further guaranteeing the freedom of concrete exposed to sea water from aggressive chemical action. In this connection, reference may be made to the report of the ACI committee 212 on admixtures, published in the *ACI Proceedings*, and particularly to the portion of the report concerned with pozzolans Vol. 60, November 1963, p. 1505-1511. On page 1510 of the ACI report, reference is made to various publications which summarise the available knowledge on the use of pozzolans in concrete exposed to sea water and other sulphate-bearing waters. It is noted that certain pozzolans containing substantial amounts of chemically active aluminates may actually reduce the resistance of concrete made with sulphate-resisting cement to the action of aggressive sulphate solutions. When pozzolans are used as an ingredient of concrete, they are generally required to conform to the provisions of the appropriate specification of the ASTM or of a major user agency, such as the Corps of Engineers, US Army, or the US Bureau of Reclamation. These specifications do not at present require an evaluation of the ability of the pozzolan to improve the sulphate resistance of the concrete in which it is used.

Comments. Concerning Question 1A, the bibliographic references [3] and [4] were appended to the reply. The following relevant observations are contained in these documents.

The severe weathering exposure station of Treat Island (Maine) has been in use since 1936. It consists of a rack which is exposed at mean-tide. The tidal range is a mean of about 18 ft (5.50 m), with a maximum of about 28 ft (8.55 m) and a minimum of about 13 ft (3.96 m). Salinity is 35.275 ‰ (1959). (Note ‰ indicates parts per thousand.)

Mean temperature of the water 37 °F (2.8 °C).

Minimum temperature of the air, -10 °F (-23.4 °C).

A recording thermometer is employed with the bulb embedded in the middle of a concrete specimen. A freezing and thawing cycle results from the tide reversal, the centre of the specimen being below 28 °F (-2.2 °C) when immersed and well above this temperature when exposed to the air. In the period 1940 to 1958, the average number of annual cycles of freezing and thawing was 130. A freezing index is computed. The deterioration of the concrete specimens is rated by measurement of the fundamental transverse frequency, from which the dynamic modulus of elasticity is calculated. The damage sustained by exposure is expressed by the ratio in percentage of the modulus after a certain period of exposure to the initial modulus. When this ratio falls below 50 %, the specimen is considered to have failed. Specimens of suitable size are subjected to a pulse velocity test. The degree of attack is rated by the ratio of the square of the velocity after exposure to the square

au carré de la vitesse initiale. Il est aussi limité inférieurement à 0,50. Les éprouvettes sont aussi inspectées visuellement.

Les petites éprouvettes ont comme dimensions $9 \times 11,5 \times 41$ cm; les grandes $15 \times 15 \times 76$ ou $15 \times 15 \times 122$ ou $46 \times 46 \times 91$ cm en règle générale, mais d'autres dimensions et d'autres formes sont également employées.

La station d'exposition climatique tempérée de St. Augustine (Floride) comporte également une plateforme à mi-marée, en service depuis 1940. La température moyenne de l'eau est $21,1^{\circ}\text{C}$ (70°F). On admet que ces conditions donnent lieu à une attaque des éprouvettes de béton par les sels dissous dans l'eau de mer. Pour de nombreuses recherches, des éprouvettes identiques sont exposées dans les deux stations, pour distinguer l'action chimique seule de l'eau de mer de celle des intempéries (gel-dégel).

Les éprouvettes prismatiques sont bétonnées parallèlement à leur grand axe (colonnes) ou perpendiculairement (poutres). Certaines sont armées ou précontraintes.

Les recherches sont conduites par le Corps des Ingénieurs, occasionnellement par le Bureau national des Normes; elles concernent tous les constituants des bétons, leur composition, leur mise en œuvre, mais aussi d'autres matériaux, tels que les joints d'étanchéité, etc.

Les inspections sont biennales à la Station de St. Augustine et annuelles à celle de Treat Island. Il est à noter que ces stations ne servent pas seulement à l'étude du comportement des matériaux dans la mer, mais qu'elles sont considérées comme des stations d'étude générale de durabilité, même pour des ouvrages non maritimes.

Au sujet de la Question 1B, il est indiqué que des recherches de laboratoire sont quelquefois effectuées comparativement aux essais d'immersion marine.

Les Laboratoires de Colombus de l'Institut Battelle Memorial effectuent des recherches sur le comportement dans l'eau de mer artificielle d'un ciment (déposé) contenant de courts fragments de fil d'acier.

Au sujet de la Question 3, il est à remarquer qu'aucune référence n'est faite à l'emploi d'entraîneurs d'air. Des séries importantes de recherches ont été faites à ce sujet à Treat Island, mais il n'y a pas d'entraîneurs d'air dans tous les bétons essayés.

FRANCE

Correspondants : E. PRANDI, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris.

J. BROCARD, Centre expérimental de recherches et d'études du Bâtiment et des Travaux Publics, Paris.

B. ALEMANY, Électricité de France, Paris.

M. ADAM, Commission permanente des liants hydrauliques et des adjuvants du béton (COPLA), Ministère de l'Équipement et du Logement.

Question 1A. Le Ministère de l'Équipement a procédé à des essais sur éprouvettes cubiques de 40 cm de côté en mortier plastique à 600, 450 et 300 kg de ciment par mètre cube de sable 0,5/2 mm et de 300 kg de ciment par mètre cube de sable 0/0,5 mm, dans trois laboratoires maritimes permanents, situés à La Rochelle et à Brest sur l'Atlantique et à Marseille sur la Méditerranée. Ces éprouvettes étaient placées dans la mer sur des plateformes au niveau de mi-marée. On observait l'état apparent

of the initial velocity, the failure limit is again taken as 50 %. The specimens are also visually examined. Small test specimens measure $3 \frac{1}{2} \times 4 \frac{1}{2} \times 16$ in; larger specimens, $6 \times 6 \times 48$ in. or $18 \times 18 \times 36$ in. Other sizes and shapes are also exposed.

The mild weathering station of St Augustine (Florida) is also a rack at meantide elevation. It has been in use since 1940. The mean temperature of the water is 70°F (21.1°C). These conditions are conducive to attack of the concrete specimens by the dissolved salts in the sea water. In many programmes, identical specimens are exposed in the two stations in order to provide information on the effect of the sea water on the concrete specimens as well as the influence of freezing and thawing cycles.

Prismatic exposure specimens are cast either with their long axis vertical (these are called columns) or are moulded with their long axis horizontal (beams). Certain specimens are reinforced or prestressed. Investigations are conducted by the Corps of Engineers and occasionally by the National Bureau of Standards. These investigations concern all the components of concrete, namely composition, construction methods etc., and other materials such as waterstops etc. are also tested.

The specimens at St Augustine are examined every two years but annually at Treat Island. It should be recorded that these stations are not only used to study the behaviour of material in sea water but that they are considered to be suitable sites for the general study of durability (or weathering) for non maritime purposes.

Concerning Question 1B, the replies show that laboratory studies are sometimes conducted in association with marine immersion tests. The Columbus Laboratories of the Battelle Memorial Institute is studying the behaviour in artificial sea water of a proprietary cement containing short metal fibres.

Concerning Question 3, it is remarkable that no reference is made to the use of air-entraining agents. An important series of tests have been conducted on this subject at Treat Island but not all the concretes tested contained air-entraining agents.

FRANCE

Correspondents: E. Prandi, Central Laboratory of Bridges and Highways, Paris.

J. Brocard, Experimental Centre for Research and Study of Buildings and Public Works, Paris (CEBTP).

B. Alemany, Electricity of France, Paris.

M. Adam, Permanent Commission for Hydraulic Cements and Admixtures for Concrete (COPLA), Ministry of Equipment and Housing.

Question 1A. *The Ministry of Equipment has tested 40 cm cubes made of plastic mortar containing 600, 450 and 300 kg cement per cubic metre and 0.5/2 mm sand, and 300 kg cement per cubic metre and 0/0.5mm sand, in three permanent marine laboratories located at La Rochelle and at Brest, on the Atlantic coast, and in Marseille, on the Mediterranean. The specimens were located in the sea on a rack at the mean-tide elevation. Visual inspection was made after predetermined periods*

des cubes après des durées définies d'exposition jusqu'à dix ans. Ces opérations étaient faites pour le compte de la Commission des Chaux et Ciments, qui contrôlait les ciments devant être utilisés pour les travaux à la mer. La tendance actuelle est d'abandonner ces essais en mer réelle, l'appréciation du comportement étant difficile et exigeant de trop longues durées.

Le CEBTP a entrepris en 1952 une recherche d'intérêt général dans la Méditerranée à Marseille, au parc d'essais précité de l'Administration des Ponts et Chaussées. Des prismes de béton de $7 \times 7 \times 28$ cm, à 6 dosages différents, variant de 200 à 600 kg de ciment par mètre cube, sont immergés verticalement totalement ou sur la moitié de la hauteur dans des bacs à niveau constant remplis d'eau de mer constamment renouvelée. On détermine les variations de module d'élasticité dynamique et de masse, on observe les variations d'aspect. Les essais en cours ont confirmé les notions connues pour les éprouvettes totalement immergées : nocivité des fortes teneurs en C_3A , avantage des fortes teneurs en laitier. Mais l'immersion partielle a attiré l'attention sur le phénomène de remontée capillaire de la solution saline et de la cristallisation des sels dans la partie émergente, favorisées par une température ambiante relativement élevée. Ce phénomène affecte surtout les bétons les plus poreux et principalement les ciments riches en laitier. Bibliographie [9] et [10].

En vue de la construction de l'usine marémotrice de la Rance, principalement pour le choix du ciment, Électricité de France a immergé dans la mer, à l'embouchure de la Rance, de nombreuses éprouvettes qui ont conduit au résultat recherché en un temps assez court. Bibliographie [11].

L'Institut des Recherches appliquées du béton armé a immergé en Méditerranée (parc d'essai des Ponts et Chaussées) et dans l'Atlantique, à l'embouchure de la Rance, des poutres en béton précontraint; l'immersion verticale est limitée à la moitié de la hauteur. Bibliographie [12].

Pour quelques observations sur ouvrages réels dans le port de Marseille, bibliographie [13].

Question 1B. Les recherches indiquées en 1A ont été accompagnées d'essais comparatifs en laboratoire et eau de mer artificielle concentrée, sur pâte de ciment et mortiers, éventuellement sur bétons. Cf. bibliographies en 1A.

Des recherches autonomes en laboratoire ont été suscitées par les observations faites sur les éprouvettes de béton semi-immersées en Méditerranée, relatées en 1B, et aussi en vue de rechercher des essais plus rapides que ceux d'immersion en mer pour apprécier la tenue des ciments dans ce milieu. Après des travaux isolés, plusieurs laboratoires ont fait des études en commun : LCPC, Ville de Paris, CERILH, LBTP, etc. pour la mise au point d'une méthode accélérée de corrosion. Des barrettes de $2 \times 2 \times 16$ cm de mortier normal (1 : 3 en poids) ou amaigri (1 : 4 en poids) sont conservées dans de l'eau de mer artificielle concentrée, en immersion totale permanente et alternée à 20 °C et en immersion alternée, l'air étant chauffé à 40 °C. La mesure des variations de longueur doit permettre de contrôler en six mois la tenue d'un ciment vis-à-vis de l'eau de mer.

Le CEBTP a poursuivi des essais en laboratoire sur les effets de semi-immersion dans l'eau de mer artificielle de prismes de béton, de mortier normal et de pâte pure, avec ou sans chauffage par rayonne-

of exposure up to ten years. These tests were conducted for the Commission for Limes and Cements, who controlled the cements to be used for marine structures. The current tendency is to abandon these tests under actual exposure conditions since a rational interpretation of the behaviour of the specimens is difficult and requires an excessively long exposure period.

Since 1952 the CEBTP has carried on a research programme of general interest at Marseille at the previously mentioned exposure station of the Board of Bridges and Highways. Prisms of concrete, $7 \times 7 \times 28$ cm, of six different compositions varying from 200 to 600 kg cement per cubic metre, were immersed vertically either for their entire length or for half their length in tanks filled to a constant level with continually replenished sea water. Variation in the dynamic modulus of elasticity and of weight were measured. Visual inspection was also made.

The tests in progress have confirmed the established views on the behaviour of completely immersed specimens; undesirability of high C_3A content, advantages of using high blast-furnace slag cements, etc. However, the behaviour of the semi-immersed specimens has drawn attention to the phenomenon of capillary rise of the salt solution and to the crystallisation of the salts on the exposed part of the specimens which is facilitated by the relatively high temperature of the atmosphere. This mainly occurs with the most porous specimens and particularly with the cements rich in blast-furnace slag. See bibliography [9] and [10].

Before constructing the tidal power station in the Rance estuary, and particularly to aid the selection of the most suitable cements, Electricity of France has exposed a large number of specimens to sea action in the river estuary. These tests provided the required results in a very short period of time. See bibliography [11].

The Institute for Applied Research on Reinforced Concrete has vertically positioned semi-immersed, prestressed concrete beams in the Mediterranean (exposure station of the Bridges and Highways Board) and in the Atlantic (estuary of the Rance). See bibliography [12].

Some observations on actual structures in the harbour of Marseille are given in reference [13].

Question 1B. The research programmes given under 1A have been associated with comparative laboratory tests in concentrated artificial sea water on cement paste, mortar and finally on concrete specimens. See bibliography listed under question 1A.

Independent laboratory tests have been suggested by the observations on the semi-immersed concrete specimens in the Mediterranean, described in 1B, and also with the aim of developing more rapid tests than those of immersion in the sea to compare the behaviour of cements in this environment.

Following independent studies, several laboratories have worked together (LCPC, Ville de Paris, CERILH, LBTP, etc.) in the development of an accelerated method of corrosion testing. In one test, small bars $2 \times 2 \times 16$ cm, with standard mortar (1 : 3 by weight) or of a leaner mix (1 : 4 by weight), are stored in concentrated artificial sea water at 20 °C and are either totally immersed continually, or alternately immersed. In another series the alternately immersed specimens are exposed to an air temperature of 40 °C. The measurement of the changes in length over a period of six months should provide an indication of the behaviour of a cement in sea water. Laboratory tests are in progress at the

ment ou encore avec émergence alternée avec chauffage par rayonnement lors de l'émergence. Bibliographie : [9] et [10].

Des laboratoires de cimenteries ont aussi fait des recherches, notamment sur des ciments « sursilicés » (bibliographie [13]) et pour établir (Ciments Lafarge) la formule de Sadran comme critère d'appréciation à la place de l'indice d'hydraulicité de Feret, etc.

Question 2. L'agrément des ciments pour les travaux à la mer est en vigueur en France depuis 1901, époque à laquelle fut créée par le Ministère des Travaux Publics la Commission des Chaux et Ciments, appelée à formuler les conditions applicables aux fournitures de chaux hydrauliques et de ciment pour les travaux à la mer et à contrôler leur application.

Cette commission est actuellement devenue la Commission permanente des liants hydrauliques et des adjuvants du béton (COPLA), émanant du Ministère de l'Équipement et du Logement (qui a remplacé l'ancien Ministère des Travaux Publics). En résumé, pour être agréés, les ciments doivent satisfaire à un ensemble d'essais chimiques, physiques et mécaniques qui vont loin au delà des essais normaux; ils prévoient notamment des gâchages et des conservations à l'eau de mer. Une liste des ciments agréés est publiée chaque année. Elle indique les ciments de fabrication courante, en distinguant ceux qui ont subi des essais de longue durée; d'autres ciments ne sont produits que sur commande. Ces ciments doivent naturellement satisfaire aussi aux normes en vigueur pour leur catégorie. Les fournitures font l'objet d'essais de réception normaux et particuliers.

Pour la composition et la mise en œuvre des bétons à la mer, la Direction des Ports maritimes et des Voies navigables formule des prescriptions de nature générale pour la compacité, l'homogénéité et l'imperméabilité. La quantité de ciment par mètre cube de béton exprimée en kilogrammes est déterminée par la formule $C = 700/\sqrt[3]{D}$, dans laquelle D est la plus grande dimension du granulat exprimée en millimètres. La quantité d'eau correspondante doit être la plus petite possible permettant une mise en œuvre adéquate du béton. Pour les ouvrages massifs, on aura recours aux ciments agréés dégageant le moins de chaleur et dont la courbe de dégagement de chaleur est la plus étalée. Bibliographie [14].

Question 3. Il résulte de ce qui précède que les ciments qualifiés « prise mer », c'est-à-dire agréés par la COPLA, doivent être considérés comme des ciments spéciaux, même les Portlands sans additions. Ceux-ci doivent satisfaire aux conditions :

$$SO_3 < 2,5 \%, MgO < 3 \%, Al_2O_3 < 8 \%,$$

$C_3A < 10 \%$ (calculé par la formule de Bogue). Il faut en outre que :

$$C_3A + 0,27 C_3S \leq 23,5 \% \text{ (formule de Sadran)}$$

Cette formule a été substituée récemment à l'indice d'hydraulicité de R. Feret :

$$\frac{SiO_2 + Al_2O_3}{CaO + MgO} > 0,31 + 2(Al_2O_3)$$

En ce qui concerne les additions, de nombreuses catégories de ciment normalisées en France en comportent : laitier, cendres volantes, pouzzolanes, etc. Les ciments « prise mer » de ces catégories doivent satisfaire à des conditions supplémentaires par rapport aux normes correspondantes. Les adjuvants font

CEBTP on the effects of semi-immersion in artificial sea water using prisms of concrete, standard mortar and pure cement paste, with or without radiant heating, and also with alternate immersion and radiant heating when brought out of the solution. See references [9] and [10].

At the laboratories of certain cement manufacturers, tests have also been made on "supersilicated" cements (reference [13]), and also to establish (Ciment Lafarge) the Sadran formula as an appropriate criterion in place of the hydraulicity index of Feret, etc.

Question 2. In France, the approval for cements for marine works has been in force since 1901 when the Ministry of Public Works set up the Commission for Limes and Cements, with the objective of formulating the conditions applicable to the supplies of hydraulic lime and cement of marine works and the control of their application.

This commission has now become the Permanent Commission for Hydraulic Cements and Admixtures to Concrete (COPLA), responsible to the Ministry of Equipment and Housing (in place of the former Ministry of Public Works). Approved cements must comply with the requirements of a series of chemical, physical and mechanical tests, well in excess of the standard tests. These tests involve mixing with sea water and storage under marine conditions. A list of approved cements is published annually, which give the cements currently manufactured. Those cements which have been subjected to long term testing are also indicated; other cements are available only on special order. These special cements must comply, of course, with the Standards in force for the particular type. The products are submitted to standard and special acceptance tests.

To control the composition and the procedure for placing concrete in the sea, the Director of Sea Harbours and Waterways has formulated recommendations of a general character for the compaction, the homogeneity and the impermeability of the concrete. The weight of cement (in kg/cu m) is calculated from the formula, $C = 700/\sqrt[3]{D}$ where D is the largest size of the aggregate (in mm). The corresponding quantity of water used must be the smallest possible for adequate placing of the concrete. For mass concrete, one should choose those approved cements which generate the lowest amount of heat and whose heat emission curve is the lowest. (See reference [14].)

Question 3. It follows from the above that the cements labelled "sea setting", thus approved by the COPLA, must be considered as special cements, even the Portland cements without additions. These must comply to the following analysis :

$$SO_3 < 2.5 \%, MgO < 3 \%, Al_2O_3 < 8 \%, C_3A < 10 \% \text{ (calculated from the Bogue formula).}$$

Furthermore, it is necessary that :

$$C_3A + 0.27 C_3S \leq 23.5 \% \text{ (formula of Sadran).}$$

This formula has been recently substituted in place of the hydraulicity index of R. Feret :

$$\frac{SiO_2 + Al_2O_3}{CaO + MgO} > 0.31 + 2(Al_2O_3).$$

Several types of cements in France contain additives; for example, blastfurnace slag, fly ash, pozzolans, etc. The "sea setting" cements of these types must satisfy requirements in addition to those of the corresponding standards. Admixtures are subject to approval in the

l'objet d'un agrément de la même manière que les ciments « prise mer ». Actuellement une liste provisoire d'adjuvants agréés est en vigueur. Il s'agit d'entraîneurs d'air, de plastifiants et des deux combinés. Les prescriptions recommandent une grande prudence dans l'emploi de ces adjuvants. Bibliographie [14].

Commentaires. Au sujet de la Question 1A, la COPLA envisage de faire prochainement un bilan d'examen portant sur des périodes de 10 à 65 ans d'éléments de béton soumis aux actions atmosphériques dans la zone de marnage. Les essais en mer réelle ont commencé en France peu après la création de la Commission des Chaux et Ciments. La station de Boulogne-sur-Mer (abandonnée semble-t-il) a été renommée par les travaux de R. Feret; l'ancienne station de La Rochelle par ceux de Maynard. Leur exploitation restera certes associée à la grande activité de recherches en laboratoires, qui est exposée dans la réponse à la Question 1B. Électricité de France étudie un grand programme de nouvelles recherches en vue de la construction de nouvelles supercentrales sur les rivages maritimes, en raison du problème des eaux de refroidissement pour les centrales thermiques et nucléaires.

En ce qui concerne la Question 2, il apparaît que la France exerce depuis le début du siècle un contrôle très organisé de la qualité des ciments admis pour les travaux à la mer.

La réponse à la Question 3 indique que les usagers peuvent compter sur des garanties sérieuses au sujet de ciments « spécialement » appropriés aux travaux à la mer, de même que pour les adjuvants. Cependant les règles précises, mais très générales pour l'exécution des ouvrages à la mer laissent de grandes responsabilités aux usagers.

Océan Atlantique Nord-Ouest

CANADA

N. B. — Les réponses du Canada paraissent se rapporter toutes à l'Atlantique. Il en était de même pour celles des États-Unis. On peut en conclure que les conditions d'exposition sur les longues côtes du Pacifique de ces pays ne sont pas plus graves que celles de l'Atlantique.

Correspondants : E. G. SWENSON, Conseil national de recherches du Canada, Division des recherches en bâtiments, Section des matériaux de construction, Ottawa. (Délégué de la RILEM pour le Canada.)

D. C. TIBBETS, Laboratoire régional de l'Atlantique, Halifax.

L. R. STRATTON, Conseil des ports nationaux, Ottawa.

N. G. ZOLDNERS, Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources, Division de la préparation des minerais, Ottawa.

R. PETERSON, Ministère de l'Agriculture, Saskatoon.

P. SMITH, Ministère de la Voirie de l'Ontario, Downsview.

G. FRÉCHETTE, Ministère de la Voirie de Québec, Québec.

H. F. GRIGHTMIRE, Permanent Concrete Ltd, Brocksville (Ont.).

L. R. LAUER, Canada Cement Co. Ltd, Toronto

J. N. MUSTARD, Ontario Hydro, Toronto.

same way as the " sea setting " cements. A provisional list of approved admixtures has been published. This list includes air-entraining agents, plasticisers and combinations of both. The current regulations recommend that great care be taken in the use of these admixtures. (See reference [14].)

Comments. Regarding Question 1A, COPLA considers it will soon be possible to report on the results from concrete elements exposed to atmospheric action in the tidal range for periods from 10 to 65 years.

Actual marine exposure tests were begun in France soon after the establishment of the Commission of Limes and Cements. The exposure station at Boulogne-sur-Mer (now abandoned) will always be associated with the work of R. Feret; the old station of La Rochelle with that of Maynard. Their use will certainly remain associated with the wide research activity in the laboratories described in the replies to Question 1B.

Electricity of France has embarked on a large programme of new research with the purpose of constructing new super power stations on the coast, arising from the problems of cooling water for thermal and nuclear power stations.

Concerning Question 2, it appears that in France, a well organised control on the quality of cements permitted for marine structures has been in operation since the beginning of the century.

The replies to Question 3 indicate that the user may expect a guaranteed product with cements " particularly " suitable for marine applications. Similarly for admixtures incorporated in the cements. Nevertheless, the sound but very general regulations for the building of marine structures place great responsibilities on the builder.

NORTH WESTERN ATLANTIC OCEAN

CANADA

The replies from Canada all concern the Atlantic coastline. This was also noted in the response from the United States. One may infer, therefore, that the conditions of exposure on the extensive Pacific coastline of these countries are not more severe than on the Atlantic.

Correspondents: E. G. Swenson, National Research Council of Canada. Division of Building Research, Building Materials Section, Ottawa, RILEM delegate for Canada.

D. C. Tibbets, Atlantic Regional Laboratory, Halifax.

L.R. Stratton, National Harbours Board, Ottawa.

N. G. Zoldners, Department of Energy, Mines and Resources, Mineral Processing Division, Ottawa.

R. Peterson, Canadian Department of Agriculture, Saskatoon.

P. Smith, Ontario Dept of Highways, Downsview.

G. Frechette, Quebec Dept of Highways, Quebec.

H. F. Grightmere, Permanent Concrete Ltd, Brocksville, Ontario.

L. R. Lauer, Canada Cement Co Ltd, Toronto.

L. N. Mustard, Ontario Hydro, Toronto.

Question 2. La norme CSA standard A23.1-1967 contient un article spécial 28 pour le béton dans l'eau de mer. Les granulats doivent être non réactifs et de haute qualité. Pour les bétons immergés complètement ou construits sur la côte, $E/C \leq 0,49$. Pour les bétons exposés sur une face ou mouillés par intermittence, $E/C \leq 0,42$.

Distance des armatures aux surfaces libres $> 7,6$ cm (3 pouces), au voisinage des arêtes $> 10,2$ cm (4 pouces). Aucune pièce métallique auxiliaire (étriers, supports, fixations, etc.) ne peut être distante d'une surface libre de moins de 5 cm (2 pouces).

Les arêtes et les sommets auront un chanfrein d'au moins 2,5 cm (1 pouce).

Un cahier spécial des charges du Conseil des ports nationaux est plus explicite et détaillé. Les dosages sont faits en poids, précision des balances 1 %. Dosage minimal en ciment 337 kg/m³ (568,75 lbs per cub. yard). En cas de béton confectionné sous eau 389 kg/m³ (656,25 lbs per cub. yard).

Des mélanges d'essai en vraie grandeur seront confectionnés avec le matériel du chantier au moins 7 jours avant le commencement du travail pour contrôler la qualité et l'ouvrabilité du béton et permettre sa mise au point. Des cylindres d'essai seront moulés et le travail ne pourra commencer avant d'avoir obtenu et approuvé des résultats de cylindres d'essai âgés de 7 jours.

Des dispositions détaillées sont données pour le malaxage et la mise en œuvre du béton. Consistance 1 à 4 pouces (2,5 à 10,1 cm) d'affaissement; en cas de vibration moins de 2,5 pouces (6,26 cm). $E/C < 0,48$. La mise en place sous eau doit s'opérer par tube plein (trémie) suivant des conditions définies; la consistance du béton doit être telle que l'affaissement soit compris entre 5 et 7 pouces (12,6 à 17,7 cm). Des prescriptions spéciales détaillées régissent le compactage, les joints, la cure de durcissement du béton aux premiers âges, les conditions de travail par temps froid, le contrôle du béton, le coffrage et le décoffrage, etc., en vue d'obtenir un béton durci de haute qualité.

Question 3. En dehors d'emplois épisodiques et anciens de ciment alumineux, il n'est guère fait usage de ciments réputés résistants aux sulfates. La norme CSA Standard A23.1-1967 n'indique rien à ce sujet et le Cahier des charges spécial du Conseil des ports nationaux prescrit l'emploi de ciment Portland normal, l'emploi de ciment Portland à durcissement rapide devant faire l'objet d'une décision spéciale. Un correspondant recommande l'emploi de ciment Portland type II, légèrement résistant aux sulfates et à faible dégagement de chaleur; il ajoute cependant que l'on doute de la capacité de protection supplémentaire de ce ciment dans les eaux froides du Canada et qu'il conviendrait mieux dans les eaux marines plus chaudes.

La norme CSA Standard A23.1-1967 impose l'emploi d'agents entraîneurs d'air, la quantité d'air entraîné étant définie en fonction de la dimension maximale des granulats. La spécification spéciale du Conseil des ports nationaux ne contient aucune indication à ce sujet et le correspondant mentionné ci-dessus remarque que l'emploi d'air entraîné est controversé et pas d'usage général. Il ajoute que l'addition de chlorure calcique est interdite.

Question 2. CSA Standard A23.1-1967 contains a special article (article 28) "Concrete in sea water". Aggregates must be unaffected by sea water and of highest quality. Concrete to be immersed completely in sea water or exposed along the sea coast should have a water/cement ratio of less than or equal to 0.49. Concrete exposed on one side or to intermittent wetting shall have a w/c ratio ≤ 0.42 . Reinforcement shall be placed at least 3 in. (7.6 cm) from any surface and at corners, at least 4 in. (10.2 cm) from all adjacent surfaces. Metal stirrups, supports or ties shall not extend to within 2 in. (5 cm) of the surface. All corners and edges of concrete members in, or adjacent to, sea water shall have a chamfer of at least 1 in. (2.5 cm).

A special concrete specification of the National Harbours Board is more explicit and detailed. The mixes are measured by weight. Weighing equipment shall be accurate to 1 % of the net load. The minimum content of cement shall be 568.75 lb per cubic yard (337 kg/cu m). For concrete cast under water, the cement shall be 656.25 lb per cu yd (389 kg/cu m). Full size trial batches shall be made in the mixer using the aggregate selected for the work to establish correct proportioning of the mix to give adequate workability without exceeding the water/cement ratio and slump specification. These batches shall be made after all equipment is assembled for the project and at least 7 days before the commencement of the work. Trial batch test cylinders are required and no concrete shall be placed until the test results from the 7 day trial cylinders have been obtained and approved. Detailed instructions are also given for the mixing and the placement of the concrete. The slump shall be between 1 and 4 in. and where vibrated, less than 2.5 in. The water/cement ratio is required to be less than 0.48. The placement of concrete under water shall be done with a tremie under closely controlled conditions and for this purpose a slump of 5 to 7 in. is required. Precise instructions control the vibration, construction joints, the curing of fresh concrete, cold weather requirements, testing, the shuttering employed (and its removal), so that a hardened concrete of high quality is obtained.

Question 3. Apart from some historic and sporadic use of high alumina cement, sulphate resisting cements are seldom used. The Canadian standard, CSA-A23.1-1967, gives no guidance on the use of such cements and appropriate specification of the National Harbours Board prescribes the use of normal Portland cement. The use of high early strength Portland cement is considered a special case.

One of the correspondents recommends the use of Portland cement type II which has a moderate resistance to sulphate action and a low heat of hydration. He remarks however, that there is some doubt of the additional protection achieved by the use of this cement in the cold waters of Canada, inferring that it would be useful only in warmer waters.

Standard CSA-A23.1-1967 requires the use of air-entraining agents, the quantity of entrained air being defined as a function of the maximum aggregate size. The National Harbours Board specification provides no guidance on the use of air-entraining agents. The above mentioned correspondent remarks that the use of entrained air is a controversial issue and is not in general use. He adds that addition of calcium chloride is not permitted.

OCÉAN ATLANTIQUE NORD-EST

NORTH EASTERN ATLANTIC OCEAN

NORVÈGE

NORWAY

Correspondants : Prof. INGE LYSE, délégué de la RILEM pour la Norvège, Trondheim.

O. E. GJØRV, Institut des matériaux de construction de l'Université technique de Norvège, Trondheim.

Correspondents: Professor Inge Lyse, RILEM delegate for Norway, Trondheim.

O. E. Gjorv, Institute for Building Materials. The Technical University of Norway, Trondheim.

Question 1A. La réponse est contenue dans un livre remarquable de O. E. Gjorv, « Durability of Concrete Wharves in Norwegian Harbours » (Durabilité des appontements en béton dans les ports norvégiens). Il s'agit d'un rapport établi sous la supervision du Comité norvégien du béton dans l'eau de mer, fondé en 1962 et issu lui-même d'un Groupe de travail ayant le même objet et fondé en 1960 par l'Association Nordique du béton, groupant des spécialistes des trois pays scandinaves et de la Finlande.

On trouve dans cet ouvrage [15] la relation détaillée et commentée de l'inspection de 716 ouvrages maritimes, principalement des appontements, mais aussi des piles de ponts, des phares, des môles et d'autres infrastructures. Un chapitre entier est consacré aux caractéristiques locales. La salinité moyenne de 35 g par litre décroît légèrement du Sud au Nord (35,4 g à 34,1). La température de l'eau varie en moyenne de 9,5 °C au Sud à 5 °C au Nord. La température de l'Atlantique varie d'un maximum de 11 à 14 °C en août à un minimum de 6 à 7 °C en mars-avril. Près des côtes, il peut y avoir une légère dilution par l'eau douce (jusqu'à 30 g) et dans le Kattegat l'eau sortant de la Baltique abaisse la salinité jusqu'à 20 g par litre.

L'amplitude du marnage est relativement faible. De 0,38 m à l'extrémité Sud de la Norvège, elle atteint 0,50 à Oslo, 0,64 à Stavanger, 1,60 à Bergen et 3,60 m à Narvik, comme maximums. Les valeurs minimales sont moitié moindres.

En raison des vents dominants d'Ouest et du Sud-Ouest, le climat norvégien est relativement tempéré. Lors des hivers très froids, de la glace se forme le long des côtes Sud et Est de la Norvège, à cause du mélange d'eau peu salée de la Baltique. Il n'y a pas de glace le long des côtes Ouest et Nord. La côte Ouest de la Norvège a de 40 à 80 jours par an de gel sous 0 °C et moins de 10 jours par an de gel à -10 °C. Plus au Nord, ces valeurs peuvent atteindre 200 et 20 respectivement.

Les tempêtes sont fréquentes sur les côtes de Norvège et souvent très violentes; leur fréquence est de 5 à 40 jours de tempête par an du Sud au Nord. Les vitesses maximales du vent atteignent 50 à 60 m/s. Ces circonstances sont considérées comme très importantes pour la durabilité des ouvrages en béton.

Les observations des dégâts sont très variables en raison des âges très divers des constructions inspectées et des circonstances dans lesquelles elles se trouvent. Dégradations aux piliers au voisinage de la flottaison ou dans la zone de marnage, fissures verticales et éclatement du béton par corrosion des armatures, reprises défectueuses. Beaucoup de dégradations aux nervures en béton armé des dalles, éclatement du béton par corrosion des armatures, joints défectueux, etc. Écaillages du béton par le gel, attaques superficielles plus ou moins profondes dues à l'action des sels marins. Beaucoup de dégâts sont dus à des défauts du béton et au mauvais placement

Question 1A. The answer is given in an informative book by O. E. Gjorv: "Durability of Concrete Wharves in Norwegian Harbours". This report was conducted under the auspices of the Norwegian Committee on Concrete in Sea Water, founded in 1962 and itself arising from a Working Group for Concrete in Sea Water, appointed in 1960, of the Nordic Concrete Association which brought together specialists in the three Scandinavian countries and Finland.

This work [15] gives a detailed and documented account, of the inspection of 716 marine constructions, principally wharves, but also bridge pillars, breakwaters, lighthouses and a number of different foundations. One chapter is devoted to the local characteristics.

The average salinity of 35 g/l (35 ‰) decreases slightly from the South to the North (35.4 g to 34.1 g). The average water temperature varies from 9.5 °C in the South to 5 °C in the North. The temperature of the Atlantic varies between a maximum of 11 to 14 °C in August and a minimum of 6 to 7 °C in March to April. Near the coast, there may be a slight dilution by fresh water (to 30 g/l) and in the Kattegat, water flowing out of the Baltic decreases the salinity to 20 g/l. The tidal range is relatively small; from 0.38 m at the southern end of Norway, it reaches 0.50 m at Oslo, 0.64 m at Stavanger, 1.60 m at Bergen and 3.60 at Narvik as maximum values: minimum values are half of the above.

Because of the prevailing westerly and southwesterly winds, the Norwegian climate is rather mild. During very cold winters, ice develops along the Southern and Eastern coasts of Norway, because of the mixing with the brackish water of the Baltic. No ice forms along the Western and Northern coasts of Norway. The western coast of Norway has annually between 40 to 80 days of frost but less than 10 days of frost with temperatures below -10 °C. Further north, these figures may reach 200 and 20 days respectively. Storms are frequent on the Norwegian coasts and are often severe. Their duration is from 5 to 40 days in a year from south to north. The maximum wind velocities reach 50 to 60 m/sec. These conditions are considered to be very important for the durability of concrete structures.

The extent of the deterioration observed is very variable because of the widely different ages of the inspected structures and because of the local conditions. The report shows deterioration of pillars at the water line or in the tidal range, vertical cracks and spalling of the concrete through corrosion of the reinforcement, defective water stops etc. It also lists much damage to the ribs of reinforced concrete slabs, spalling of the concrete by corrosion of the reinforcement, bad jointing, etc. Spalling of the concrete by frost action, superficial or severe attack by marine salts are also included.

Much damage was due to defects of the concrete or poor positioning of the reinforcement. General and

d'armatures. On ajoute des considérations générales et détaillées sur les réparations des défauts constatés.

Le Prof. O. HEGGSTAD avait entrepris vers 1930 des essais sur des piliers de $20 \times 20 \times 220$ cm, disposés verticalement dans le fjord de Trondheim de manière que le pied soit toujours immergé et la tête toujours émergente, quelles que soient les conditions de marée.

Ces éprouvettes étaient faites de bétons de divers dosages et avec des ciments de nature diverse; certaines étaient armées. Il a été rendu compte des observations faites au Colloque RILEM à Palerme en 1965. Bibliographie [15] et [16].

Question 1B. Les inspections d'ouvrages relatées sous 1A ont été complétées par des recherches de laboratoire sur des fragments de béton extraits de ces ouvrages, ce qui a permis une discussion approfondie des causes et des processus de dégradation. Des recherches analogues ont été faites sur des fragments de béton des piliers d'essai du Prof. HEGGSTAD.

Enfin, bien que cela ne figure pas dans la réponse, il faut mentionner les recherches effectuées en laboratoire par le Prof. INGE LYSE sur des éprouvettes de béton immergées partiellement dans de l'eau de mer artificielle et soumises à des cycles de gel-dégel. Bibliographie [17].

Question 2. Le ciment Portland normal norvégien est exclusivement appliqué pour les travaux à la mer, satisfaisant aux normes. Les essais du Prof. HEGGSTAD évoqués sous 1A et 1B avaient entr'autres utilisé des ciments contenant du laitier, mais ce produit n'est pas utilisé en Norvège.

L'ouvrage de M. GJØRV ne donne aucune indication concernant le dosage en ciment ni la limite supérieure de E/C pour le béton à la mer. Sauf pour le béton déposé sous eau, qui doit contenir 400 kg de ciment par mètre cube et avoir un affaissement de 15 à 18 cm. La mise en place sous eau du béton par un tube à niveau plein (trémie) est décrite en détail. La couverture des armatures doit être au moins égale à 3 fois la grosseur maximale des granulats et supérieure à 5 cm.

Question 3. Il n'est pas fait usage de ciments spéciaux. Il est généralement admis que des agents entraîneurs d'air soient employés pour les constructions en eau de mer. O. E. GJØRV indique que des retardateurs ont été occasionnellement et rarement utilisés pour du béton coulé sous eau. Les ciments résistants aux sulfates conviennent mieux pour les eaux tempérées que pour les eaux froides.

Commentaires. En ce qui concerne 1A, la durabilité des ouvrages maritimes en béton a une importance économique énorme pour la Norvège, à cause du développement considérable de ses côtes, même sans y comprendre les fjords. Cela explique l'étude importante qui a été effectuée sur le comportement des ouvrages existants et le caractère pratique de ses conclusions. On remarquera cependant qu'elles se rapportent presque exclusivement à la forme des ouvrages et très peu aux qualités du béton et du ciment, sauf pour le béton coulé sous eau. On recommande un type d'appontement sur piliers cylindriques ou polygonaux, supportant une dalle plane sans nervures, dont la face inférieure doit être assez élevée au-dessus des hautes eaux moyennes, par exemple de 1,75 à 2,00. Les piliers auront au moins 0,80 m de diamètre ou de largeur (à arêtes largement chanfreinées s'ils sont carrés ou rectangulaires).

detailed instructions are given for the repair of the damage.

Professor O. Heggstad had carried out a programme of research in 1930 on pillars $20 \times 20 \times 220$ cm, cast vertically in the fjord of Trondheim, in such a manner that the base was always submerged and the top always above the water level at all conditions of the tide. Specimens of various concrete mixes containing several types of cement were employed. Some specimens were reinforced. The results of the observations were presented at the RILEM Symposium in Palermo, 1965. See references [15] and [16].

Question 1B. The inspection of structures described under 1A have been augmented by laboratory tests on sections of concrete taken from the structures. This has permitted a thorough discussion of the causes and development of failure. Similar tests have been made on concrete sections from Professor Heggstad's test pillars.

Finally, although it is not mentioned in the reply to the questionnaire, one should take note of the laboratory studies of Professor Inge Lyse on concrete specimens partly immersed in artificial sea water and subjected to freezing and thawing cycles. See reference [17].

Question 2. Standard Norwegian Portland cement is exclusively used for marine works. The tests of Professor Heggstad had included cements containing blastfurnace slag, but this product does not exist in Norway. The publication of O. E. GjØrv provides no information on the quantity of cement or on the tolerated upper limit of the water/cement ratio for concrete in the sea. It does recommend that concrete cast under water must contain 400 kg/cu m cement and have a slump of 15 to 18 cm. The placing under water with a tremie is described in detail. The cover to the steel must be at least 3 times the maximum aggregate size or at least 5 cm.

Question 3. Special cements are not used. It is generally admitted that air-entraining agents are used for the structures in sea water. O. F. GjØrv mentions that retarders have been occasionally used but seldom in concrete cast under water. Sulphate resisting cements are considered more suitable for mild than for cold waters.

Comments. Concerning Question 1A, the durability of maritime works in concrete is of enormous economic importance for Norway because of the extensive development of the coastline, even neglecting that of the fjords. This explains the intensive study that has been made on the behaviour of existing structures and the practical character of its conclusions. However, the study is concerned almost exclusively with the shape of the structures and very little with the qualities of concrete and cement, except for concrete cast under water. One particular type of wharf is recommended with cylindrical or polygonal pillars, supporting a flat slab without ribs, whose lower face must have sufficient clearance above mean high tide level—for example, from 1.75 to 2 metres. The pillars shall be at least 80 cm in diameter or width; the edges being heavily chamfered if they are square or rectangular. The thickness of the slabs will depend on

L'épaisseur des dalles dépendra des charges. (L'enquête a établi qu'elles étaient souvent dépassées en exploitation d'une manière considérable.)

the load. NB. The inspection has established that in service, the actual load is often a multiple of the design load.

MER BALTIQUE - FINLANDE

BALTIC SEA - FINLAND

Correspondants : S. USITALO, Institut de recherches marines, Helsinki.

Correspondents: S. Usitalo, Institute of Marine Research, Helsinki.

M. HEIKILLA, Secrétaire de la Section finlandaise de l'AIPCN, Helsinki.

M. Heikillä, Secretary to the Finnish Section of PIANC.

Question 1A. Un inventaire des dégradations aux ouvrages en béton par l'eau marine a été effectué selon la décision de 1962 du Groupe de travail « Béton dans l'eau de mer » de l'Association Scandinave du béton. Il a été relevé en Finlande 47 cas de dommages dont 26 légers, 13 importants et 5 fatals. Ils s'agissait de constructions d'accostage dans les ports et de phares. La forme des dégradations était surtout la corrosion du béton à la flottaison causée par l'interaction de l'humidité et du gel. Une communication a été faite à ce sujet à la réunion de l'Association Scandinave du béton à Trondheim du 13 au 16 novembre 1968. Une enquête de l'Administration finlandaise de la navigation est en cours depuis 1963 au sujet de la corrosion du béton des phares. Un rapport provisoire sur les dégradations constatées est attendu.

Question 1A. An inventory of the damage sustained by concrete structures in sea water has been taken following the 1962 decision of the Working Group "Concrete in sea Water" of the Scandinavian Concrete Association. In Finland, 47 instances of damage were reported, 26 of these were slight, 13 considerable and 5 severe. The structures included in the enquiry were harbour quay structures and lighthouses. The damage mainly took the form of corrosion in the concrete at the waterline, primarily caused by the interaction of moisture and frost. A talk was given on the subject at the Scandinavian Concrete Association meeting in Trondheim, 13th to 16th November 1968. The Finnish Board of Navigation has also conducted an inquiry since 1963 on concrete corrosion in lighthouse structures. An interim report on the examination will shortly be issued.

L'Administration des Chaussées et des Voies navigables, la Section finlandaise des grands barrages et l'Association des Centrales électriques finlandaises ont entrepris en commun en 1968-69 une étude sur l'état du béton dans l'eau de mer. Des rapports ont été établis sur 436 ouvrages, ponts, écluses, quais, barrages, etc. dont la majorité sont dans l'eau douce. L'objet est de perfectionner les normes pour les applications hydrauliques du béton. La salinité est très faible dans la Baltique. De l'ordre de 3 g par litre dans le Nord du Golfe de Bothnie, elle est de l'ordre de 6,5 g par litre à la latitude de l'île d'Oesel. Elle ne joue donc pas un grand rôle dans la corrosion des bétons à la mer en Finlande. Par contre, les gels intenses pendant tout l'hiver, atteignant jusqu'à -20° à -30° C, peuvent causer de graves dégradations à la flottaison. (N. B. Il n'y a pratiquement pas de marée dans la Baltique.)

The Board of Public Roads and Waterways, the Large Dams Finnish Section and the Association of Finnish Power Plants have undertaken a joint study in 1968-69 on the condition of concrete in marine structures. Reports have been issued on 436 structures which include bridges, locks, quays and dams. The majority of these structures are in salt-free water. The aim of the study is to supplement the concrete standards with detailed specifications on concrete used in hydraulic engineering.

The salinity of the Baltic is low. It is about 3 g/l in the North of the Gulf of Bothnia and about 6.5 g/l at the latitude of the island of Oesel. It is probably of little significance in assessing the damage under Finnish conditions. On the other hand, freezing always occurs in winter with temperatures as low as -20° C to -30° C, which may cause frost damage in structures at the water line.

(NB. There is almost no tide in the Baltic.)

Question 2. Il n'existe pas actuellement de norme pour les bétons à la mer. L'Administration de la Navigation prescrit actuellement ce qui suit pour les caissons de phares susceptibles d'être affectés par l'eau de mer :

Question 2. At present, the Finnish concrete standards do not contain any special requirement regarding the concrete to be used in sea water. The Board of Navigation specifies the following requirements for concrete used in caisson lighthouses and liable to be affected by sea water.

Quantité minimale de ciment par mètre cube, 350 kg.

(a) Minimum cement content; 350 kg/cu m.

Porosité réalisée par entraîneurs d'air pour éviter la gélivité : 40 à 60 l par mètre cube.

(b) Porosity to be achieved with air-entrainment admixtures to avoid frost damage. Quantity of air entrained 40 to 60 litres per cubic metre.

Essai d'imperméabilité : des cylindres de \varnothing 15 cm et 30 cm de hauteur sont soumis à une pression d'eau de 35 atm pendant 48 heures. Un sixième seulement des éprouvettes peuvent avoir moins de 35 % de section sèche.

(c) Impermeability test: cylinder diameter 15 cm, length 30 cm, tested under a water pressure of 35 atmospheres for 48 hours. Maximum of 1/6th of the test results shall have less than 35 % dry surface.

Question 3. Il n'est guère fait usage de ciments spéciaux. Les adjuvants utilisés sont ceux d'usage normal en Europe.

Question 3. Special cements are not widely used. The admixtures used in the concrete are the normal additives in general use in Europe.

MER DU NORD - ROYAUME UNI

Correspondants : Dr. F. G. THOMAS, Building Research Station, Garston.

R. T. L. ALLEN, Area Engineer for the South West, Cement and Concrete Association, Cardiff.

Dr. M. LEVITT, Research Committee for the Cast Stone and Cast Concrete Products Industry, Slough.

Question 1A. Un grand programme de recherches a été entrepris en 1929 pour étudier la résistance du béton armé à l'attaque marine. Les éprouvettes étaient des prismes carrés de 12,5 cm de largeur (5 pouces) et de 1,50 m de hauteur (5 pieds). Ils contenaient une barre axiale de 2,5 cm de diamètre (1 pouce) couverte de 5 cm de béton (2 pouces) ou 4 barres de 1,25 cm de diamètre (1/2 pouce) disposées aux 4 angles de manière à être couvertes de 2,5 cm de béton (1 pouce). Le béton était de composition variable par la nature du ciment, avec addition ou non de matières pouzzolaniques. Le facteur E/C était également variable ainsi que la consistance (affaissements de 1,25 et de 5 cm). Il y avait 3 dosages à environ 592, 356 et 213 kg de ciment par mètre cube.

De 1929 à 1935, 219 éprouvettes ont été placées à Sheerness verticalement dans des bacs en plein air. Elles étaient constamment immergées sur 48 cm de hauteur et l'eau de mer constamment renouvelée par pompage produisait une fluctuation bi-quotidienne de 46 cm à 76 cm reproduisant à échelle réduite la marée dans la mer. Les dégradations constatées provenaient de la corrosion des armatures et non de l'attaque du béton. Un rapport complet a été publié en 1960 [18].

Des recherches et observations d'un caractère assez particulier concernent la durabilité des bétons de protection côtière. Il s'agit de l'interaction de l'attaque marine avec l'abrasion par les sédiments, principalement les galets, le tout accompagné des actions atmosphériques et de la marée. Des observations ont été faites sur divers ouvrages et des panneaux d'essais formés de bétons de diverses natures ont été disposés dans des perrés inclinés entre les lisses de basse mer et les pieds de digues côtières. L'abrasion serait la principale cause de dégradation; le gel-dégel ne jouerait pas un grand rôle, mais des cristallisations de sels dans des fissures sont soupçonnées en certains endroits. Le problème est de grande importance économique pour les pays qui ont de grandes étendues de côtes à défendre. Bibliographie [19].

Question 1B. Les essais de Sheerness ont été accompagnés d'essais de laboratoire à la Building Research Station. 297 éprouvettes identiques ont été placées dans des réservoirs profonds de 48 cm, abrités sous un hangar ouvert.

Une solution d'eau de mer concentrée était pompée dans les bacs de manière à les remplir complètement pendant 2 à 3 jours, puis à les vider, les éprouvettes étant alors exposées à l'air. Des cylindres d'essai pour déterminer les résistances à la compression jusqu'à l'âge de 10 ans étaient immergés complètement dans l'eau douce et dans l'eau de mer concentrée, une série immergée dans cette solution sur le tiers de la hauteur. Bibliographie [18].

En 1963, plusieurs laboratoires ont entrepris en commun une vaste recherche d'une durée de 20 ans sur des cubes de 10 cm de côté de divers bétons de divers ciments immergés complètement dans des

NORTH SEA - UNITED KINGDOM

Correspondents: Dr. F. G. Thomas, Building Research Station, Garston Herts.

R. T. L. Allen, M. A. Area Engineer for the South West, Cement and Concrete Association, Cardiff.

Dr. M. Levitt, Research Committee for the Cast Stone and Cast Concrete Products Industry, Slough.

Question 1A. A large research programme was started in 1929 to investigate the resistance of reinforced concrete to attack by sea water. The test specimens were square piles of 5 in. edge and 5 ft long. A reinforcing rod, 1 in. diameter, was placed at the centre of the pile, giving a cover of 2 in. of concrete, while in another series, four 1/2 in. diameter steel rods were placed at each corner and so arranged to give a depth of cover of 1 in. The composition of the concrete varied with the type of cement and the addition of pozzolans. The water/cement ratio was also varied giving two consistencies corresponding to slumps of 1/2 in. and 2 in.

Three mix proportions were employed with cement contents of 1 000, 600 and 360 lbs cement per cubic yard. From 1929 to 1935, 219 specimens were placed vertically in open tanks at Sheerness. The base of the piles were constantly immersed to a depth of 18 in. and the sea water was constantly renewed by a suitable mechanism which produced a rise and fall of the level of the sea water of about 1 1/2 to 2 1/2 ft twice daily, following the normal tidal movement on a reduced scale. The observed effect was severe cracking caused by the corrosion of the reinforcement and no attack of the concrete. A detailed report has been published in 1960 [18]. Research studies and observations of a rather special character are needed to investigate the durability of concrete in coastal protection works. Here, it is a question of the interaction of chemical attack with the physical process of abrasion caused by wave-driven shingle, together with atmospheric action and the effect of the tide. Observations have been made on various structures and test panels made of various concrete mixes have been positioned on the sloping apron of a sea wall. Abrasion is the principle cause of damage, freezing and thawing is not significant for coastal protection structures in the British Isles. Some deterioration may however, be due to ice formation in fine shrinkage cracks. The problem is of great economic importance in countries which have to protect an extensive coastline. See bibliography [19].

Question 1B. In addition to the tests at Sheerness, laboratory tests have been done at the Building Research Station in which 297 identical test specimens have been stored in tanks of 18 in. depth, in an open shed. A solution of concentrated sea water was pumped from one tank to another in such a way that the specimens were completely immersed for 2 or 3 days then exposed to the air for the same period. Cylinders for compressive strength tests up to 10 years were completely immersed in fresh water and in concentrated sea water, while a third series was partially immersed in the synthetic sea water. See reference [18].

In 1963, several laboratories co-operated in an extensive 20-year programme. In this programme, cubes of 10 cm edge of different concretes mixes with several types of cement were completely immersed in sulphate solutions of various composition and strengths. The

solutions à diverses concentrations de divers sulfates. Les observations après 5 années font l'objet d'un rapport présenté au Colloque RILEM sur la durabilité des bétons à Prague en 1969 [20].

Parallèlement aux essais en mer de résistance des bétons à l'abrasion, des essais d'abrasion au jet de sable sur cubes de 305 mm de côté (12 pouces) ont été effectués, sans grand succès.

Question 2. Certains codes normaux de bonne pratique contiennent de brèves références à la durabilité du béton exposé à l'eau de mer, mais le choix du béton est laissé à l'auteur du projet.

Question 3. Le ciment Portland résistant aux sulfates et le ciment alumineux sont normalisés, mais leur emploi n'est obligatoire en aucune circonstance.

RÉPUBLIQUE FÉDÉRALE ALLEMANDE

Correspondants : Dr.-Ing. H. G. SMOLCZYK, Institut de recherches de la Forschungsgemeinschaft Eisenhüttenschlacken, Rheinhausen.

Prof.-Dr. Ing. K. WESCHE, Chaire de connaissance des matériaux et Institut de recherches des constructions de l'Université technique de Rhénanie-Westphalie, Aachen.

Ce dernier correspondant a résumé les réponses de 10 organismes.

- 1° Laboratoire du ciment et du béton, Beckum.
- 2° Office de la navigation et des eaux, Tönning.
- 3° Université technique de Munich, Chaire de construction massive.
- 4° Office de drainage et d'assèchement de marais, Heide.
- 5° S. A. des Cimenteries Dyckerhoff, Wiesbaden.
- 6° S. A. des Cimenteries Portland, Heidelberg.
- 7° Institut de recherches de la Forschungsgemeinschaft Eisenhüttenschlacken, Rheinhausen (cf. Dr. Ing. H. G. Smolczyk).
- 8° Institut de recherches de l'industrie cimentière, Düsseldorf.
- 9° Institut de l'industrie minière, Université technique de Rhénanie-Westphalie, Aachen.
- 10° Institut de recherches des constructions de l'Université technique de Rhénanie-Westphalie, Aachen.

Question 1A. Des blocs de béton de 10 à 20 tonnes ont été disposés aux môles Ouest et Sud de l'île d'Helgoland en 1916, puis en 1938, dans un but expérimental. Des carottes cylindriques en béton extraites de ces blocs en 1968 ont donné, aussi bien pour le ciment Portland que pour le ciment de haut-fourneau, de bonnes résistances à la compression. Les éprouvettes ont aussi subi des examens physiques et chimiques, notamment au sujet de la pénétration des chlorures et des sulfates. Dans les bétons assez poreux de 1916, les chlorures semblent avoir pénétré jusqu'à 5 cm. Dans les bétons compacts de 1938, cette pénétration est inférieure à 3 cm. L'aspect extérieur des blocs diffère d'après la nature du ciment; les arêtes et les coins sont fortement dégradés en cas de ciment Portland.

D'autres informations sont données sur un mur de protection de côte à Helgoland (blocs bétonnés de 1959 à 1963) et sur des déversoirs, des écluses et des

observations après 5 années furent données dans un rapport à la RILEM Symposium on durability of concrete in Prague 1969 (reference [20]).

Concurrent with the tests in the sea on the resistance of concrete panels to abrasion, comparative laboratory tests with sand-blasted 12 in. cubes have been made. The results are inconclusive.

Question 2. Several British Standard Codes of Practice contain brief reference to the durability of concrete exposed to sea action. The selection of the appropriate concrete mix remains with the designer.

Question 3. Sulphate-resisting Portland cement or high alumina cement complying with the relevant British Standards may be specified if desired, but this is not a mandatory requirement of any official regulation.

GERMAN FEDERAL REPUBLIC

Correspondents: Dr. Ing. H. G. Smolczyk, Institute for research of the Forschungsgemeinschaft Eisenhüttenschlacken, Rheinhausen.

Prof. Dr. Ing. K. Wesche, Chair of Materials, Building Research Institute, Technical University of the Rhineland, Westphalia, Aachen.

The latter correspondent has summarised the replies of ten organisations :

1. Laboratory for cement and concrete, Beckum.
2. Water and Navigation Office, Tönning.
3. Technical University of Munich, Chair of massive construction.
4. Marsh Drainage and Reclamation Office, Heide.
5. Cement works Dyckerhoff, Wiesbaden.
6. Portland Cement works, Heidelberg.
7. Research Institute of the Forschungsgemeinschaft Eisenhüttenschlacken, Rheinhausen (cf. Dr. H. G. Smolczyk).
8. Research Institute of the Cement Industry, Düsseldorf.
9. Institute for Mineral Industry, Technical University of Rhineland-Westphalia, Aachen.
10. Building Research Institute of the Technical University of Rhineland-Westphalia, Aachen.

Question 1A. Concrete blocks of 10 to 20 tons were placed on the Western and Southern piers of the Isle of Heligoland, in 1916, and subsequently in 1938, for experimental purposes. Cylindrical cores were removed from the blocks in 1968; they were found to have high compressive strengths for both the Portland cement and the blast-furnace slag cement. The cores were also subjected to chemical and physical tests, particularly the depth of penetration of chloride and sulphate. In the rather porous concrete exposed in 1916, chlorides have penetrated to a depth of 5 cm. In the more compact concrete exposed in 1938, the depth of penetration was less than 3 cm. The visual appearance of the blocks varies with the type of cement used, for example edges and corners were severely damaged with the Portland cement specimens.

Further information was submitted concerning a protection wall at Heligoland (concrete blocks made between 1959 and 1963) and also of culverts locks and drainage stations (tidal range 3 to 6 metres), of unknown

stations d'épuisement (marnage 3 à 6 m), dont l'âge n'est pas indiqué. Dans les 2 cas, on indique les conditions d'emploi de ciment métallurgique riche en laitier, avec addition de trass ou de cendres volantes ou encore de ciment Portland sans C₃A. A part quelques érosions superficielles après l'hiver exceptionnel de 1962-63, il n'y a pas de dégradations à signaler, au maximum après 10 ans, donc une durée d'observation assez courte. Bibliographie [21] et [22].

Des poutres en béton armé de 15 × 25 × 95 cm, fléchies de manière à être fissurées, ont été immergées dans le bassin de refuge de Borkum, en eau abritée à intense activité biologique (pH 6,4), pendant 10 années (1957 à 1967). Elles étaient placées à un niveau tel qu'elles étaient alternativement immergées pendant 2 heures et hors de l'eau pendant 9 heures. A cause de la forte incrustation biologique, les poutres étaient toujours humides. Elles étaient faites à l'aide de ciment Portland et assez poreuses (270 kg de ciment par mètre cube, E/C = 0,80). Il n'y a pas eu de dommages superficiels du béton mais une assez forte absorption de chlorure. Il y a eu peu de corrosion des armatures, par des piqûres localisées, indépendamment des fissures. Les étriers couverts de 1,5 cm de béton avaient leur section réduite de 60 % par corrosion à certains endroits. L'épaisseur de couverture des armatures n'est pas indiquée. La résistance à la compression du béton après 10 ans était de 400-460 kg/cm². A Borkum également, depuis 1963, des poutres en béton précontraint de 6 × 10 × 100 cm (E/C = 0,45) sont exposées à 3 m au-dessus de marée haute. Les armatures seront examinées en 1973. Des prismes de 10 × 15 × 70 cm à 300 kg/m³ de divers ciments (granulats 0/30, E/C = 0,53 à 0,55, consistance par étalement 0,39-0,40) ont été exposés à l'action de la marée sous la passerelle d'accès au phare de Hohewege. Pas de dégâts après 10 ans.

Des recherches complémentaires ont été effectuées sur des cubes de béton qui ont été immergés pendant longtemps dans la mer près de Wilhelmshaven. Bibliographie [23].

Enfin des prismes 10 × 15 × 50 de béton à 330 kg de ciment par mètre cube (E/C = 0,45), confectionnés avec des ciments Portland à diverses teneurs en C₃A et un ciment métallurgique riche en laitier, ont été immergés dans l'eau au fond d'un puits de mine. L'eau a une composition voisine de celle de l'eau de mer. Elle est toutefois immobile, sans marée et à température quasi constante. Pas de dégâts observés après 4 ans. Cette recherche peut être assimilée pour les raisons précitées à un travail de laboratoire.

Question 1B. Huit laboratoires effectuent en commun une recherche sur des prismes de béton de 10 × 15 × 50 cm immergés complètement dans de l'eau de mer artificielle. Il a été fait usage de ciments Portland à diverses teneurs en C₃A, de ciment de haut-fourneau à 60 % de laitier à teneurs diverses en Al₂O₃ et de ciment-trass. Le facteur E/C variait de 0,48 à 0,55 avec le gravier du Rhin et de 0,55 à 0,62 pour le gravier de la Leine et du Weser, pour une consistance par étalement de 0,45. Après 2 ans, les prismes du ciment Portland à teneur la plus élevée en C₃A (12 %) étaient nettement attaqués, les autres guère ou pas.

Une recherche étendue a été faite sur des mortiers de ciments Portland de diverses natures, des ciments métallurgiques à diverses teneurs en laitier, jusqu'à 75 %, et du ciment-trass, au moyen de prismes de dimensions diverses : 1 × 1 × 6 cm, 5 × 5 × 25 cm, 1 × 4 × 16 cm et 4 × 4 × 16 cm. Ils ont été immergés

age. In each case, comments are made on the use of metallurgical cement with high slag contents, with addition of trass or fly ash, and also of Portland cement without C₃A. Except for some superficial erosion due to the exceptional winter of 1962/63, no significant damage was noted in the rather short observation period of at most 10 years. See reference [21] and [22].

Reinforced concrete beams, 15 × 25 × 95 cm, stressed to produce open cracks have been immersed for 10 years (1957 to 1967) in the inner dock of Borkum, in calm water with intensive biological activity (pH 6.4). The specimens were positioned so that they were alternately immersed for 2 hours and exposed to the air for 9 hours. Because of the thick biological cover, the beams were always wet. They were made with Portland cement and were rather porous (270 kg/cu m cement; water/cement ratio 0.80). No damage of the concrete has been observed but the absorption of chloride was rather high. Only slight corrosion of the reinforcement has been experienced in the form of local pitting remote from the cracks. Stirrups covered by less than 1.5 cm concrete have shown a reduction in cross section of 60 % at certain points. The cover to the main reinforcement is not given. The compressive strength of the concrete after 10 years exposure was 400 to 460 kg/sq cm.

Also at Borkum, prestressed concrete beams, 6 × 10 × 100 cm (water/cement ratio 0.45) have been exposed since 1963 in a position 3 metres above the high tide level. The reinforcement will be examined in 1973. Prisms, 10 × 15 × 70 cm, containing 300 kg/cu m of various cements (aggregate 0/30; water/cement ratio 0.53 to 0.55; flow consistency 0.39 to 0.40) have been exposed in the tidal zone beneath the bridge leading to the Hohewege lighthouse. No damage has been observed after 10 years.

Additional tests have been done on concrete cubes which have been immersed for long periods in the sea close to Wilhelmshaven. See reference [23].

Finally, concrete prisms 10 × 15 × 50 cm containing 330 kg/cu m cement (water/cement ratio 0.45) made with Portland cements of various C₃A contents and with a metallurgical cement of high slag content, have been immersed in the water at the bottom of a coal mine. This water has a composition very close to that of sea water. It is however static water and at an almost constant temperature. For these reasons this work may be regarded as an extension of the laboratory tests. No deterioration has been observed after 4 years exposure.

Question 1B. Eight laboratories are co-operating in a joint research programme with concrete prisms of 10 × 15 × 50 cm, totally immersed in artificial sea water. Portland cements at several C₃A contents, blast-furnace cement with 60 % slag of various Al₂O₃ content and trass cement have been used. The water/cement ratios vary from 0.48 to 0.55 with Rhine gravel; and from 0.55 to 0.62 with Leine and Weser gravel, the flow consistency being 0.45. After 2 years, the prisms made with the Portland cement having the highest C₃A content (12 %) are moderately attacked, the other cements show slight attack or are unaffected. An extensive programme has been started on mortars with various types of Portland cement, metallurgical cements with various blast-furnace slag contents (up to 75 %), and with trass cement. The specimens are prisms of various sizes: 1 × 1 × 6 cm, 5 × 5 × 25 cm, 1 × 4 × 16 cm and 4 × 4 × 16 cm, which have been immersed in

dans des solutions diversement concentrées de Na_2SO_4 et de MgSO_4 pendant des durées variant de 771 à 119 jours selon les cas. Il a été procédé à des mesures de résistance à la flexion et à la compression, de dilatation, de compacité, de fréquence de résonance et d'amortissement vibratoire, ainsi qu'à des essais physiques et aux rayons X. Bibliographie [24] et [25].

Dans un autre laboratoire, des barrettes $4 \times 4 \times 16$ de pâte pure ($E/C = 0,30$) et de mortier $1 : 4$ en poids ($E/C = 0,75$) ont été confectionnées avec des ciments Portland à diverses teneurs en C_3A , des ciments métallurgiques avec diverses proportions (jusqu'à 80 %) de laitiers à diverses teneurs en Al_2O_3 et de clinkers à diverses teneurs en C_3A , enfin de ciment-trass. Après 4 à 5 ans d'immersion complète dans l'eau de mer artificielle, il n'y a pas de dégradations.

Un autre essai de laboratoire est relatif au choix d'un ciment pour la construction d'une cale sèche en Égypte. Des prismes de $4 \times 4 \times 16$ ont été confectionnés aux dosages $1 : 3,63$ et $1 : 3,91$ avec un ciment Portland et avec un ciment de haut-fourneau égyptiens. Ils ont été immergés complètement dans de l'eau de mer artificielle ayant 1,5 fois, puis 3 fois la concentration de l'eau de la Méditerranée à l'endroit de l'ouvrage (39,81 g/l). L'immersion a duré 412 jours dans la concentration la plus faible, 1 000 et 1 410 dans l'autre, aux températures de 15 °C et 30 °C. Les éprouvettes de comparaison étaient dans l'eau douce à 20 °C. Le ciment de haut-fourneau a marqué quelque supériorité, sans influence appréciable du facteur E/C . Bibliographie [26].

Enfin, une recherche de nature différente a consisté dans l'immersion totale de cubes de béton de 4 cm d'arête dans 4 solutions : NaCl à saturation et à 3 moles, CaCl_2 à 3 moles et eau de mer concentrée. Il y avait 3 ciments différents et E/C variait de 0,5 à 0,8. On a mesuré la résistance à la compression comparée à celle d'éprouvettes témoins conservées dans l'eau douce. Des attaques diversifiées ont été constatées, allant jusqu'à la destruction complète des éprouvettes de ciment Portland à haute ou à faible teneur en C_3A . Les concentrations des solutions de chlorure sont des multiples de celle de l'eau de mer. Bibliographie [27].

Question 2. La majeure partie des réponses considèrent que tous les ciments normalisés en R.F.A. peuvent convenir pour les travaux à la mer. Quant aux bétons, les normes DIN 4030, 1045 E et 1048 contiennent des prescriptions pour les bétons exposés à l'eau de mer. Notamment, la profondeur de pénétration selon DIN 1048 doit être inférieure à 3 cm. Un correspondant souhaite qu'elle soit inférieure à 25 mm.

Question 3. La réponse est généralement négative. Quelques réponses recommandent l'emploi de ciment métallurgique riche en laitier (plus de 70 %). L'une d'elle recommande en outre un ciment à faible dégagement de chaleur, ce qui est compatible avec la recommandation précédente. Enfin une réponse considère comme ciments résistant aux sulfates :

- les ciments Portland à moins de 3 % de C_3A ;
- les ciments métallurgiques à plus de 70 % de laitier;
- les ciments métallurgiques sursulfatés;
- les ciments métallurgiques additionnés de pouzzolanes;

solutions of sodium sulphate and magnesium sulphate over a wide range of concentrations for periods ranging from 119 to 771 days. Flexural and compressive strength, dilatation, compaction, resonance frequency, and vibration damping have been measured. Physical and X-ray investigations have also been made. See references [24] and [25]. In another laboratory, beams $4 \times 4 \times 16$ cm have been produced containing neat cement paste (water/cement ratio 0.30) and mortar $1 : 4$ by weight with water/cement ratio of 0.75, with Portland cements of differing amounts of C_3A , metallurgical cements with various proportions of blast-furnace slag (up to 80 %) having a range of Al_2O_3 content and clinkers with various amounts of C_3A ; and also containing trass cement. After 4 and 5 years total immersion in artificial sea water, no deterioration has been observed.

Another laboratory is concerned with the choice of cement for the construction of a dry dock in Egypt. Prisms $4 \times 4 \times 16$ cm have been made at two mix proportions — $1 : 3.63$ and $1 : 3.91$. A Portland cement and a blast-furnace slag cement were used, both of Egyptian origin. Two series of prisms have been totally immersed in artificial sea water having 1.5 and 3 times the salinity of the Mediterranean at the dock site (39.81 g/l). The specimens have been immersed for 312 days in the solution of lower concentration, 1 000 and 1 410 days in the stronger solution, at temperatures of 15 °C and 30 °C. Comparison specimens were stored in fresh water at 20 °C. The blast-furnace slag cement showed some superiority with no appreciable effect from varying the water/cement ratio.

Finally, a laboratory study of a different kind has followed the total immersion of 4 cm concrete cubes in four solutions : saturated and 3 molar sodium chloride, 3 molar calcium chloride and concentrated artificial sea water. Three types of cement were used with water/cement ratios from 0.5 to 0.8. The compressive strength was measured and compared with that of specimens stored in fresh water. Considerable attack was observed, producing total destruction of the Portland cement specimens with both high and low C_3A contents. The concentration of the chloride solutions was multiples of that of the sea water. See reference [26].

Question 2. *Most of the replies state that all the standard cements in the GFR are suitable for structures in sea water. Regarding the concrete, the standards DIN 4030, 1045E and 1048 contain regulations for concrete exposed to sea water action. For example, the penetration depth, according to DIN 1048 shall be less than 3 cm (under pressures up to 7 atmospheres).*

Question 3. *The replies are generally negative. Some correspondents recommend the use of metallurgical cement with high slag content (more than 70 %). Furthermore one recommends the use of a low heat cement which is compatible with the former recommendation. Finally, one reply considers the following cements to be sulphate resisting :*

- Portland cements with less than 3 % C_3A ,*
- Metallurgical cements with more than 70 % slag,*
- Supersulphated metallurgical cement,*
- Metallurgical cement with added pozzolans,*

— les ciments Portland additionnés de beaucoup de pouzzolanes, par exemple les ciments Portland au schiste bitumineux, contenant plus de 70 % de schiste.

Elle propose de contrôler la résistance aux sulfates des ciments sur des barrettes de $1 \times 4 \times 16$ cm, immergées dans des solutions sulfatées de natures et de concentrations diverses et à des températures diverses.

Commentaires. Toutes les réponses concernent la Mer du Nord, l'action de la Baltique étant beaucoup moindre. La notion de produits spéciaux est contrariée par la normalisation de diverses natures de ciments.

PAYS-BAS

Correspondants : Ir. J. VOLKERS, Secrétaire de la Section néerlandaise de l'AIPCN, La Haye.

Le DIRECTEUR de la Section Écluses et Barrages du Rykswaterstaat, Utrecht.

J. F. AGEMA, Direction des cours inférieurs des rivières, Hoek van Holland.

Ir. P. C. KREIJGER, Institut TNO pour les matériaux et les constructions, Ryswyk.

Question 1B. Six recherches sont en cours au laboratoire du TNO, dont 2 sur mortiers et 4 sur bétons. Les éprouvettes de mortier ont $4 \times 4 \times 16$ cm; dans une série on en a extrait par sciage des lamelles de $0,4 \times 4 \times 16$ cm. Les éprouvettes de béton ont $10 \times 10 \times 30$ cm. Dans 2 séries elles contiennent des armatures recouvertes de 2, 2,5 et 4,5 cm de béton. Les ciments sont de natures diverses, des Portland dont un sans C_3A , et des ciments de haut-fourneau. Il y a certaines additions de cendres volantes et un béton avec agent entraîneur d'air. Les milieux de conservation sont divers : eau de la Mer du Nord, eau de mer artificielle, eau de marais, diverses solutions de sulfates et de $CaCl_2$, eau de la Mer du Nord additionnée de 0,5 % de Na_2SO_4 , etc. Les immersions sont le plus souvent totales, quelquefois partielles. Elle est notamment partielle pour les lamelles de $0,4 \times 4 \times 16$ cm, dont la durée d'épreuve est de 3 mois. Les durées des autres recherches sont prévues de 12 à 22 mois; une série d'éprouvettes non armées de béton est immergée depuis environ 12 ans.

Question 2. Il n'y a pas de prescriptions officielles spéciales pour les ciments et les bétons à la mer. Les normes ordinaires sont applicables. Elles prévoient seulement une majoration de 1 cm de la couverture en béton des armatures par rapport aux conditions normales. Le constructeur a la responsabilité du choix du ciment et de la composition du béton. Éventuellement, il procède à des essais d'exposition de 1 à 2 ans. Les recommandations suivantes sont faites : Bonne compacité, porosité ≤ 1 % en volume, $E/C < 0,50$. Quantité de ciment 350 à 400 kg par mètre cube. Classement des ciments par ordre croissant de résistance aux sulfates : Portland, Portland à teneur réduite en C_3A , ciment de haut-fourneau, ciment sursulfaté, ciment sans C_3A . La couverture des armatures doit être supérieure à 5 cm. Pour le revêtement des nouveaux môles de Hock van Holland et de Scheveningen, des blocs de béton de 1,70 à 2,55 de côté sont confectionnés au moyen d'une granulation très étendue, de 0,1 à 150 mm. La grande compacité

Portland cements with considerable amounts of pozzolans (for example, Portland cement with more than 70 % oil shale).

In the reply it is proposed to determine the sulphate resistance of cements using small beams $1 \times 4 \times 16$ cm immersed in sulphate solutions of various kinds and at various concentrations and temperatures.

Comments. All the answers received concern exposure in the North Sea; sea action in the Baltic is less marked. The development of special products is hindered by the standardisation of many types of cement.

THE NETHERLANDS

Correspondents: Ir. J. Volkers, Secretary of the Dutch Section of PIANC, The Hague.

The Director, Locks and Weirs section, Rykswaterstaat, Utrecht.

J. F. Agema, Direction of lower river courses, Hook of Holland.

Ir. P. C. Kreijger, TNO Institute for Materials and Constructions, Ryswyk.

Question 1B. Six research programmes are in progress at the TNO Laboratory of which two are concerned with mortars and four with concrete. The mortar specimens are $4 \times 4 \times 16$ cm; in one series, sections $0,4 \times 4 \times 16$ cm have been cut. The concrete specimens are $10 \times 10 \times 30$ cm. Two series contain reinforcement under a concrete cover of 2, 2.5 and 4.5 cm. Various types of cement are used including Portland cement, one of which has no C_3A , and blast-furnace slag cements. Some cements contain additions of fly ash and one concrete is made with an air-entraining agent. The storage solutions are; North Sea Water, artificial sea water, marsh water, various sulphate solutions and also calcium chloride solutions, North sea water with the addition of 0.5 % of sodium sulphate, etc. Total immersion is usually employed but some specimens are partially immersed, for example, the $0,4 \times 4 \times 16$ cm sections which are tested for 3 months. The period of exposure for the other series is expected to extend from 12 to 22 months. A series of non-reinforced concrete specimens has been immersed for 12 years.

Question 2. There are no specific official regulations for cement and concrete which are to be used in the sea. The normal standards are applied, in which an increase of 1 cm in the depth of concrete cover to the reinforcement is prescribed over that for normal exposure conditions. The builder has the responsibility of choosing the cement and the composition of the concrete. He may decide to set up exposure tests of 1 to 2 years duration. The following recommendations are given :

high degree of compaction,
porosity less than or equal to 1 % by volume,
water/cement ratio less than 0.50,
quantity of cement 350 to 400 kg/cu m,
classification of cements in increasing order of sulphate resistance :

Portland, Portland with low C_3A content, blast-furnace slag cement, supersulphated cement, cement with no C_3A ,

Cover, not less than 5 cm.

For the facing of the new piers in the Hook of Holland and Scheveningen, concrete blocks of 1.70 to 2.55 m

qui en résulte permet de réduire la quantité de ciment (de haut-fourneau classe A) à 225 kg/m³ avec E/C = 0,4. Addition de 0,45 kg/m³ de béton d'un plastifiant, vibration très énergique.

Le contrôle du béton se fait sur des cubes de 30 cm de côté, qui sont régulièrement pesés. Les blocs réels sont tous pesés. Des essais accessoires de gélivité et d'imperméabilité sont prévus.

Question 3. Tous les ciments sont réceptionnés suivant la norme NEN 3072. En général on utilise du ciment de haut-fourneau. Dans un cas on a utilisé du ciment sans C₃A. Assez souvent il y a addition de trass. La norme NEN 488 pour la réception du trass est considérée comme non satisfaisante. On compare généralement les propriétés du béton avec et sans trass. Des plastifiants et des agents entraîneurs d'air sont parfois utilisés.

BELGIQUE

Correspondants : N. M. DEHOUSSE, Professeur à l'Université de Liège, délégué de la RILEM pour la Belgique.

J. VERSCHAVE, Directeur général des Voies hydrauliques, Bruxelles.

P. DUTRON, Directeur du Centre national de recherches scientifiques et techniques pour l'industrie cimentière, Bruxelles.

S. ROELANDT, Ingénieur en chef à la S. A. des Ciments d'Obourg, Bruxelles.

G. TOUBEAU, Secrétaire technique à la S. A. des Ciments d'Obourg, Obourg.

M. J. M. JASPERS, Directeur des Services de recherche et de contrôle de la S. A. Compagnie des Ciments Belges, Gaurain-Ramecroix.

Question 1A. En 1964 a été terminée une recherche commencée en 1934 à la demande de l'Administration des Ponts et Chaussées, en vue d'établir le comportement comparatif dans l'eau de la Mer du Nord des divers ciments normalisés ou non existant sur le marché belge. Il s'est agi de deux ciments Portland, de l'un d'eux additionné de trass, d'un ciment de haut-fourneau, d'un ciment permétallurgique (plus de 70 % de laitier), d'un sursulfaté, d'un ciment alumineux français, d'un ciment-trass allemand et d'un ciment métallurgique spécial. Ont été exposés à mi-marée dans l'avant-port d'Ostende :

1° Des éprouvettes 4 × 4 × 16 cm de mortiers à 300, 450 et 600 kg de ciment par mètre cube de sable.

2° Des cubes de 16 cm de côté de béton à 350 kg de ciment par mètre cube.

3° Des cylindres de 15 cm de diamètre et de 30 cm de hauteur des mêmes bétons contenant 4 barres d'armature de 10 mm de diamètre, espacées de la surface des cylindres de 1, 2, 3 et 4 cm respectivement. Les cylindres étaient naturellement bétonnés parallèlement aux armatures, c'étaient donc des colonnes selon la terminologie américaine.

Les barrettes de mortier étaient soumises à des essais de flexion et de compression, les cubes à des essais de compression, comparativement à des éprouvettes identiques conservées au laboratoire dans l'eau douce et dans une solution de 15 g par litre de MgSO₄ cristallisé.

edge are made with a wide aggregate size grading, from 0.1 to 150 mm. The resulting high compaction permits a reduction in the amount of cement (blast-furnace slag cement, class A) to 225 kg/cu m with a water/cement ratio of 0.4. A plasticiser (0.45 kg/cu m) is added. The concrete is vigorously vibrated. Test cubes of 30 mm edge are taken for control testing and their weight determined. The actual blocks are also weighed. Additional freezing and thawing tests and an impermeability test are proposed.

Question 3. All cements must comply with the Standard NEN 3072. Generally blast-furnace slag cement is used. In one case, cement with no C₃A was employed. More often, trass is added. The Standard NEN 488 for the acceptance of trass is considered unsatisfactory. Generally, the properties of concrete with and without trass are compared. Plasticisers and air-entraining agents are occasionally employed.

BELGIUM

Correspondents: N. M. Dehousse, Professor, University of Liege, RILEM delegate for Belgium.

J. Verschave, General Director of Waterways, Brussels.

P. Dutron, Director, National Scientific and Technical Research Centre for the Cement Industry, Brussels.

S. Roelandt, Chief Engineer, Ciments d'Obourg Co., Brussels.

G. Toubeau, Technical Secretary, Ciments d'Obourg Co.

M. J. N. Jaspers, Director of the Research and Control Services, Compagnie des Ciments Belges, Gaurain-Ramecroix.

Question 1A. In 1964, a research programme which was started in 1934, was completed. This programme was done at the request of the Board of Bridges and Highways with the object of establishing the comparative behaviour in the North Sea of various cements, standard or unspecified, available on the Belgian market. The cements were two Portland cements, one Portland cement with trass added at the site, a blast-furnace slag cement, a "parmetallurgical" cement (more than 70 % slag), a supersulphated cement, a French high alumina cement, a German trass-cement and a special metallurgical cement. The specimens, exposed at the half-tide level in the outer harbour of Ostend, were: (1) 4 × 4 × 16 cm mortar specimens with 300, 450 and 600 kg cement/cu m of sand, (2) 16 cm cubes containing 350 kg cement/cu m of concrete, (3) 15 cm diameter by 30 cm cylinders of the same concrete with four reinforcing rods of 1 cm diameter at a distance of 1, 2, 3 and 4 cm from the surface of the cylinders. The cylinders were compacted parallel to the reinforcement rods and could thus be classed as "columns" on the American terminology.

The mortar specimens were submitted to flexural and compressive tests; the cubes to compressive tests, and compared with identical specimens stored in the laboratory in fresh water and in a solution of 15 g/l of crystalline magnesium sulphate. At the advanced ages,

Aux âges très avancés, lorsque certaines éprouvettes ont été très dégradées, on en a extrait des éprouvettes cylindriques de forme parfaite. Il a été procédé en laboratoire à d'autres essais.

En 1934, il n'existait pas sur le marché de ciment Portland sans C₃A. Les résultats des essais ont servi de base aux prescriptions spéciales de l'Administration des Ponts et Chaussées pour les bétons à la mer. Bibliographie [28].

Question 1B. La recherche décrite sous 1A a été associée à des essais comparatifs sur des éprouvettes immergées dans l'eau sulfatée et dans l'eau douce. Outre des mesures de résistances mécaniques, il a été procédé à des analyses chimiques et à des essais physiques : dégagement de chaleur, retrait, imperméabilité, pesées, porosité, fréquence de résonance, etc. Bibliographie [28] et [29].

De 1940 à fin 1967, R. DUTRON (†) a procédé à de nombreux essais de laboratoire sur la résistance des ciments, mortiers et bétons à l'action agressive de solutions sulfatées et autres ainsi que de l'acide sulfurique plus ou moins dilué. Cette dernière recherche aboutissait à une tentative de détermination de la durée de destruction d'un béton par une solution diluée d'acide sulfurique. D'autres recherches concernaient le comportement d'éprouvettes 4 × 4 × 28 cm de mortier plastique en immersion partielle et totale dans diverses solutions sulfatées. En cas d'immersion totale, le module d'élasticité dynamique a été mesuré par la fréquence de résonance en plus de l'inspection visuelle.

Enfin, une dernière recherche a été une comparaison systématique de diverses méthodes d'appréciation de la résistance des ciments aux sulfates, à savoir l'essai d'Anstett, la méthode ASTM C-452-64, la méthode de Koch-Steinegger, la méthode du CERILH et la méthode anglaise APCM.

Les conclusions très nuancées de cette étude établissent que les méthodes confrontées ne sont pas toujours concordantes et que leur interprétation doit être prudente.

Deux laboratoires de cimenterie ont poursuivi des recherches sur l'essai Le Châtelier-Anstett; l'un d'eux a en outre entrepris récemment une recherche sur les effets de l'immersion alternée avec chauffage sur des éprouvettes 4 × 4 × 16 cm de mortier Rilem-Cembureau-ISO confectionnées avec divers ciments. Le milieu d'immersion est de l'eau de mer artificielle type Méditerranée. Ces essais sont inspirés par ceux de J. BROCARD et R. CIRODDE [9]. Bibliographie [30], [31] et [32].

Question 2. L'Administration des Ponts et Chaussées admet depuis 1938 pour les bétons à la mer l'emploi de ciment permétallurgique et sursulfaté et celui de ciment de haut-fourneau contenant moins de 35 % de clinker et moins de 46,5 % de CaO. C'est la seule prescription supplémentaire par rapport aux normes de ces ciments. Depuis 1968, un ciment Portland satisfaisant à la norme NBN 48 pour cette catégorie de ciments, mais en outre à la condition $\frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3} \leq 0,64$, qui ne contient pas de C₃A, est admis également. Le dosage requis est de 350 kg de ciment par mètre cube pour le béton non armé, 400 kg par mètre cube pour le béton armé. Des conditions très strictes sont fixées pour l'exécution.

Question 3. Il n'est pas vraiment fait usage de ciments spéciaux; certaines catégories seulement des

certain specimens had sustained extensive damage and cylindrical cores were removed. Other tests have been carried out in the laboratory. In 1934 no cement free of C₃A was available.

The results of the tests have formed the basis of the special regulations of the Board of Bridges and Highways for concrete to be used under marine conditions. See reference [28].

Question 1B. The research described under 1A has been associated with comparative tests on specimens immersed in a sulphate solution and in fresh water. As well as measuring the mechanical properties, chemical analysis and physical tests have also been done including: heat development, shrinkage, impermeability, weight changes, porosity, resonance frequency, etc. See bibliography [28] and [29].

From 1940 to the end of 1947, R. Dutron (†) has carried out many laboratory tests on the resistance of cements, mortars and concretes to the aggressive action of solutions of sulphates and other salts, including strong and dilute sulphuric acid. This last study endeavoured to determine the time to destruction of concrete in dilute sulphuric acid. Other programmes concerned the behaviour of 4 × 4 × 28 cm specimens of plastic mortars partially or totally immersed in various sulphate solutions. On total immersion specimens the dynamic modulus of elasticity was measured by the resonance frequency method and all specimens were visually inspected.

His most recent work has been a systematic study of the various methods for determining the resistance of a cement to sulphate action, namely the Anstett-test, the ASTM C-452-64 method, the Koch-Steinegger method, the CERILH method and the British APCM method. The widely divergent conclusions of this study established that the individual methods are not always in good agreement and that the test results require very careful interpretation.

The laboratories of two cement companies have continued research on the Le Chatelier-Anstett-test; one of these laboratories has recently undertaken further work on the effects of alternate immersion at elevated temperatures on 4 × 4 × 16 cm specimens of RILEM-CEMBUREAU-250 mortar with various cements. The specimens were stored in artificial sea water of the Mediterranean type. These tests result from the work of J. Brocard and R. Cirodde [9]. See bibliography [30], [31] and [32].

Question 2. Since 1938, the Board of Bridges and Highways authorises for concrete exposed to sea water, the use of permetalurgical cement, supersulphated cement and blast-furnace slag cement with less than 35 % clinker and less than 46.5 % CaO. This is the only requirement beyond the normal standard for these cements. Since 1968, a Portland cement complying with the NBN 48 standard for this type of cement but with the additional requirement that $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{Fe}_2\text{O}_3 \leq 0.64$ (thus containing no C₃A), is also admitted. The quantity of cement shall be 350 kg/cm for non-reinforced concrete, 400 kg/cm for reinforced concrete. Detailed procedures are given for mixing and placing the concrete.

Question 3. Special cements are not widely used; only certain types of standard cements are authorised and are eventually subject to a special clause in the

ciments normalisés sont admises et sujettes éventuellement à une condition spéciale. L'emploi d'adjuvants est soumis à autorisation particulière, par exemple accélérateur pour le travail à marée, plastifiant pour faciliter le compactage. Il n'est généralement pas fait usage d'agents entraîneurs d'air.

Océan Atlantique Est, Latitude Nord 40°

PORTUGAL

Correspondants : M. ROCHA, Directeur du Laboratoire national du Génie Civil, Délégué de la RILEM pour le Portugal, Lisbonne.

M. MARTINS, Représentant de l'Administration générale du Port de Lisbonne.

Question 1A. Une reconnaissance de l'état des ouvrages portugais a été faite il y a 20 ans et a fait l'objet d'une communication au XVII^e Congrès de l'AÍPCN à Lisbonne en 1949 [33]. D'une manière générale, les ouvrages sont en bon état. Des dégâts constatés dans deux ports situés au Nord du pays dans une zone granitique sont dus à des réactions de granulats granitiques contenant du feldspath kaolinisé [34]. Dans le port de Lisbonne les ouvrages sont en général en bon état. Des dégradations locales sont dues surtout à l'impact des bateaux, parfois à une couverture insuffisante des armatures, à la perméabilité du béton et à des joints défectueux.

Le marnage de l'Atlantique varie de 1,00 à 3,80 m; dans le port de Lisbonne de 0,30 à 4,40 m.

La salinité de l'ordre de 36 g/l au large varie de 22 à 35 g/l dans le port de Lisbonne, où la température maximale de l'eau est 26,5 °C.

Le gel est inconnu. Les courants sont faibles, sauf dans le port de Lisbonne, où ils peuvent atteindre 1,5 m/s. Les houles et vagues, dont l'amplitude la plus fréquente est 2,00 à 2,50 m, peuvent atteindre exceptionnellement 8,00 m à la côte.

Question 1B. Les recherches de laboratoire ont été orientées sur l'alumine réactive de certains granulats, aux dépens de laquelle le sulfoaluminat de calcium peut se former dans le ciment par l'action marine. Cette réaction est empêchée par abaissement du pH du ciment, obtenu par addition d'une pouzzolane active ou de laitier. En outre, dans la mer le béton peut être protégé par des incrustations superficielles protectrices, qui se forment lorsque l'eau est incrustante, c'est-à-dire lorsqu'elle ne contient pas d'anhydride carbonique libre et que le carbonate calcique peut être précipité [35]. Un essai simple permet de déterminer le caractère incrustant de l'eau.

Question 2. Actuellement, le ciment Portland est d'usage général. Pour l'usage à la mer, on exige cependant un certificat légal d'analyse chimique qui doit satisfaire à $SO_3 \leq 2\%$, $MgO \leq 3\%$, $Al_2O_3 \leq 8\%$, sulfures indosables. Indice d'hydraulicité compris entre 1,8 et 2,2. Les compositions du béton sont spécifiées selon le type de travail.

Question 3. Un nouveau code de prescriptions est en préparation pour les constructions en béton, qui contiendra des clauses particulières pour les bétons dans les eaux agressives. Dans le cas où elles sont agressives pour le carbonate calcique (non incrustantes), on imposera l'emploi de ciment de haut-fourneau 60/80, de ciment pouzzolanique ou l'addi-

specifications. The use of admixtures requires special permission; for example, accelerators for work within the tidal zone, plasticisers to facilitate compaction; air-entraining agents are not generally used.

EASTERN ATLANTIC OCEAN, NORTHERN LATITUDE 40°

PORTUGAL

Correspondents: M. Rocha, Director of the National Laboratory of Civil Engineering, RILEM delegate for Portugal, Lisbon.

M. Martins, Representative of the General Authority of the Port of Lisbon.

Question 1A. An inspection of Portuguese structures was made 20 years ago and the report was presented to the XVIIth Congress of PIANC in Lisbon in 1949 [33]. Generally, the structures were in a sound condition. Damage was observed in two ports in the North of the country in a granitic region and were caused by the reactions of granitic aggregates, which contain kaolinised feldspar [34]. In the harbour at Lisbon the structures were generally in good condition. Local defects were caused by the impact of ships, in some places due to insufficient cover to the reinforcement or permeable concrete and to defective joints. The tidal range of the Atlantic varies between 1.00 to 3.80 m; in Lisbon harbour from 0.30 to 4.40 m. The salinity is about 36 g/l in the sea and varies from 22 to 35 g/l in the harbour of Lisbon, where the maximum water temperature is 26.5 °C. Freezing does not occur. Currents are weak, except in Lisbon harbour where they may reach 1.50 m/sec. Atlantic swells and waves, with an average amplitude of 2.00 to 2.50 m, may exceptionally reach 8.00 m at the shoreline.

Question 1B. Laboratory researches have been focused on the active alumina content of certain aggregates, which causes the formation of calcium sulfoaluminate in the cement by chemical action. This reaction is hindered by a lowering of the pH of the cement, obtained by addition of an active pozzolana or blast-furnace slag. Furthermore, in the sea the concrete may be protected by superficial deposits which are formed in certain waters which contains no free carbonic acid and precipitate calcium carbonate [35]. A simple test has been devised to determine the scaling character of the water.

Question 2. At present, Portland cement is generally used. For marine applications, a legal certificate of compliance is however required which must show that SO_3 is less than or equal to 2%, MgO is less than or equal to 3%, Al_2O_3 is less than or equal to 8%, no detectable sulphite, hydraulicity index between 1.8 to 2.2. The specified composition of the concrete depends on the type of structure.

Question 3. A new code of practice is being produced which will contain specific clauses for concrete in aggressive waters. Where the water is aggressive to calcium carbonate (non-scaling), the use of blast-furnace slag cement 60/80, or pozzolanic cement will be required or pozzolana must be added to the Portland cement.

tion de pouzzolane au ciment Portland. Ces produits seront rigoureusement contrôlés, notamment l'activité des pouzzolanes.

La quantité minimale de ciment en kilogrammes par mètre cube sera déterminée par la formule :

$$C = \frac{K}{\sqrt[5]{D}}$$

dans laquelle D est la grosseur maximale des granulats en millimètres. Le tableau ci-dessous donne les valeurs de K et celles de E/C correspondantes.

These addition products will be strictly controlled, particularly the activity of the pozzolans.

The minimum quantity of cement in kg/cu m will be calculated from the formula :

$$C = \frac{\sqrt[5]{K}}{\sqrt[5]{D}}$$

where D is the maximum size of the aggregate in mm. The following table gives the values of K and the corresponding water/cement ratios.

Conditions de mise en œuvre du béton		Eaux non incrustantes, quelle que soit la teneur en ions agressifs (SO ₄ ⁻ , Mg ⁺⁺ , etc.)		Eaux incrustantes, contenant plus de 300 mg d'ions agressifs par litre (SO ₄ ⁻ , Mg ⁺⁺ , etc.)			
		Liants spéciaux		Ciment Portland		Liants spéciaux	
		Béton non armé	Béton armé	Béton non armé	Béton armé	Béton non armé	Béton armé
En contact avec l'eau avant la prise	K =	800	850	800	850	750	800
	$\frac{E}{C} =$	0,40	0,40	0,40	0,40	0,45	0,40
En contact avec l'eau entre le début de prise et 24 heures après le gâchage	K =	700	750	700	750	600	650
	$\frac{E}{C} =$	0,50	0,45	0,50	0,45	0,60	0,55
En contact avec l'eau après plus de 24 heures après le gâchage	K =	600	700	600	700	450	600
	$\frac{E}{C} =$	0,60	0,50	0,60	0,50	0,70	0,60

Conditions of casting the concrete		Non-scaling waters independent of the amount of aggressive ions (SO ₄ ⁻ , Mg ⁺⁺ , etc.)		Scaling waters containing more than 300 mg/l aggressive ions (SO ₄ ⁻ , Mg ⁺⁺ , etc.)			
		Special cements		Portland cement		Special cements	
		Non-reinf. concr.	Reinf. concr.	Non-reinf. concr.	Reinf. concr.	Non-reinf. concr.	Reinf. concr.
In contact with water before setting	K	800	850	800	850	750	800
	W/C	0.40	0.40	0.40	0.40	0.45	0.40
In contact with water between the beginning of setting and 24 hours after mixing	K	700	750	700	750	600	650
	W/C	0.50	0.45	0.50	0.45	0.60	0.55
In contact with water more than 24 hours after mixing	K	600	700	600	700	450	600
	W/C	0.60	0.50	0.60	0.50	0.70	0.60

Les liants spéciaux de ce tableau sont les ciments définis plus haut qui sont imposés dans le cas des eaux non incrustantes. Leur emploi est facultatif dans les eaux incrustantes. Le contrôle du béton frais par analyse est prévu. L'emploi d'adjuvants n'est pas indiqué.

MER MÉDITERRANÉE

GRÈCE

Correspondant : Prof.-Dr. Th. SKOULIDIS, Université technique nationale d'Athènes, Laboratoire de chimie physique et d'électrochimie appliquée, Athènes.

Question 1A. La température de l'eau au port du Pirée varie entre 26,6 °C et 18,5 °C environ.

La salinité varie selon les saisons d'environ 38 g/l (été) à 36,5 g/l (hiver). Le pH oscille entre 7,20 et 8,00 environ. Des études de corrosion d'armatures y sont faites à l'aide d'un radeau.

Question 1B. Des recherches de laboratoire sont faites au sujet de la corrosion des armatures dans le béton et de leur protection. Bibliographie [36] et [37].

ISRAËL

Correspondants : Prof. R. SHALON, Directeur de la Station de recherches de la construction, Délégué de la RILEM pour Israël, Haïfa.

Dr. M. BEN-YAIR, coordinateur de la recherche à l'Institut de normalisation d'Israël, Tel-Aviv.

Question 1B. Des recherches de laboratoire ont été faites sur l'action de solutions de sulfates et de chlorure sur divers ciments Portland.

Question 2. Pour les travaux à la mer, on recommande l'emploi d'un ciment Portland normalisé à faible teneur en C_3A résistant aux sulfates. Il est aussi à faible dégagement de chaleur. Sa composition chimique doit répondre aux conditions suivantes : insoluble < 0,75 %, SO_3 < 2,3 %; perte au feu < 3 %, MgO < 5 %, C_3A < 5 %, $(4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3) + 2(3CaO \cdot Al_2O_3) < 20$ %.

REMARQUE. — Un cas singulier est celui de la Mer Morte, dont la salinité atteint 315 g/l, comparée à 38 g/l pour la Méditerranée et 42 g/l pour la Mer Rouge. La salinité de la Mer Morte est formée pour 65 % de chlorures et de 0,02 % de sulfate. Les principaux produits de la réaction de cette eau avec le ciment sont l'hydroxychlorure de Mg, le chloroaluminat de chaux et le silicate hydraté de Mg. Le chloroaluminat de chaux est moins expansif que le sulfoaluminat et stable si sa formation est précoce. De là l'intérêt à gâcher avec l'eau de la Mer Morte et d'employer des mélanges plutôt poreux [38], [39] et [40]. Mais les armatures d'acier sont corrodées très rapidement par les chlorures. On envisage des armatures inertes en plastiques synthétiques.

The special cements in this table are those specified for non-scaling waters. Their use is optional for waters depositing a carbonate scale. Control is achieved by analysis of the fresh concrete. The use of admixtures is not considered.

MEDITERRANEAN SEA

GREECE

Correspondent: Professor Dr. T. Skoulidis, National Technical University, Athens, Laboratory of physical chemistry and applied electro-chemistry.

Question 1A. In the harbour of Piraeus, the temperature of the water varies between 26.6 and 18.5 °C; the salinity depends on the season and is between 38 g/l (Summer) and 36.5 g/l (Winter). The pH changes from 7.20 to 8.00. Studies of corrosion of reinforcement are made from a raft.

Question 1B. Laboratory studies are in progress concerning the corrosion of reinforcement in the concrete and its protection. See references [36] and [37].

ISRAEL

Correspondents: Professor R. Shalon, Director, Building Research Station, RILEM delegate for Israel, Haifa.

Dr. M. Ben Yair, Research Co-ordinator, Standards Institute of Israel, Tel-Aviv.

Question 1B. Laboratory tests have been carried out on the action of sulphate and chloride solutions on various Portland cements.

Question 2. For marine structures, the use is recommended of a standard sulphate resisting Portland cement with a low C_3A content. It is also a low heat cement. The chemical composition must comply with the following requirements: Insoluble residue — less than 0.75 %, SO_3 — less than 2.3 %. Loss on ignition — less than 3 %, MgO — less than 5 %, C_3A — less than 5 % ($4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$) + $2(3CaO \cdot Al_2O_3)$ less than 20 %.

Remarks. A singular condition exists around the Dead Sea which has a salinity of 315 g/l, compared to 38 g/l in the Mediterranean and 42 g/l in the Red Sea. The waters of the Dead Sea contains 65 % chloride and only 0.2 % sulphate. The principle reaction products of this water with cement include magnesium hydroxychloride, calcium chloroaluminat and hydrated magnesium silicate. The calcium chloroaluminat is less expansive than the sulphoaluminat and is stable when formed at early ages in the set. This explains the interest shown in using Dead Sea water and the use of rather porous mixes [38], [39] and [40]. However, steel reinforcement is rapidly corroded by the chlorides and the use of non-corroding plastic reinforcement is anticipated.

Océan Pacifique - Mer du Japon

JAPON

Correspondant : H. SEKI, Ingénieur de recherche à l'Institut de recherches des ports, Ministère des Transports, Yokosuka.

Question 1A. L'Institut de recherches des ports est situé à environ 80 km au Sud de Tokyo au bord du Pacifique. La température y varie de $-1,2^{\circ}$ à $32,4^{\circ}$ C, moyenne annuelle $14,9^{\circ}$ C. Il possède un réservoir d'environ 22,5 m sur 4,50 m, divisé en trois compartiments respectivement de 16, 4 et 2 m de longueur. Le grand bassin a des sections de profondeurs différentes, la plus grande est de 2,50 m. De l'eau est élevée automatiquement de la mer et évacuée par trois pompes, de manière à réaliser une marée semblable à celle de la nature. Ce réservoir est à l'air libre.

Des essais sur la durabilité de 36 poutres en béton armé sont en cours. Elles ont $15 \times 30 \times 180$ cm. Confectionnées en 1963, elles ont séjourné à l'air libre pendant 4 années, puis été immergées dans le bassin à marée. Elles ont été préalablement fléchies jusqu'à fissuration. L'objet est d'étudier l'influence de la largeur des fissures sur la corrosion. Des premiers examens ont eu lieu en 1968.

Des carottes cylindriques de $\varnothing 10 \times 20$ cm et de $\varnothing 15 \times 30$ cm ont été prélevées dans des ouvrages maritimes âgés de 5 à 15 ans, en divers endroits du littoral japonais. Il s'agit de constructions faites au moyen de ciments aux cendres volantes dont on veut contrôler le comportement.

Une nouvelle recherche de longue durée va être entreprise sur des bétons confectionnés au moyen de six ciments produits et utilisés au Japon : ciment Portland normal, Portland à faible dégagement de chaleur, Portland à durcissement rapide, Portland de haut-fourneau, ciment siliceux et ciment aux cendres volantes. Il y aura deux groupes différant par la teneur en SO_3 des ciments.

Il y a aussi un projet d'essai sur piliers carrés de béton armé de barres à empreintes.

Question 1B. Des essais ont été effectués sur la tendance à la corrosion de barres d'acier enrobées de mortier, par la mesure du potentiel, de l'intensité du courant de corrosion et de la résistance électrique. Il s'agissait notamment d'étudier la macro-corrosion des barres aux fissures. Bibliographie [41].

Question 2. La Société des Ingénieurs civils du Japon a publié des spécifications normales pour le béton (édition révisée de 1966) et des normes pour les projets d'ouvrages portuaires, publiées en 1968. On y recommande l'emploi du ciment Portland à faible dégagement de chaleur, à cause de sa faible teneur en C_3A . On y trouve aussi des indications sur la quantité minimale de ciment par mètre cube et la valeur maximale de E : C. Des spécifications du Ministère des Transports exigent des résistances supérieures à celles exigées par la stabilité. Il n'y a pas encore de méthode pour évaluer la résistance du ciment et du béton à l'action marine.

Question 3. Le Ministère des Transports exige l'addition d'un agent entraîneur d'air ou d'un réducteur d'eau avec effet d'entraînement d'air pour les bétons à la mer, même lorsque l'action du gel n'est pas à craindre.

PACIFIC OCEAN - SEA OF JAPAN

JAPAN

Correspondent: H. Seki, Research Eng. Port and Harbour Research Institute, Ministry of Transport, Yokosuka.

Question 1A. The Port and Harbour Research Institute is located almost 80 kilometres South of Tokyo and faces the Pacific. The temperature varies from -1.2 to 32.4° C over the year, with an annual mean temperature of 14.9° C. The Institute employs a reservoir for test purposes. This reservoir is 22.5 m by 4.5 m, divided into three sections 16.4 and 2 m in length respectively. The larger area has sections of different depths, the greatest being 2.5 m. Sea water is automatically pumped up from the sea and drained with three pumps so as to simulate ebb and flow conditions similar to the natural sea action. The pool is open.

Tests on the durability of 36 beams of reinforced concrete are in progress. These beams are $15 \times 30 \times 180$ cm and were cast in 1963, left outdoors for 4 years and then immersed in the tidal pool. The specimens were previously cracked by bending. The objective of the work is mainly to clarify the relationship between the surface crack width and the corrosion of reinforcement. The beams were first examined in 1968.

Cylindrical cores 10 cm in diameter and 20 cm long and 15 cm diameter by 30 cm long have been taken from marine structures built for about 5 to 15 years, at several locations in Japan. Concrete made with fly ash cement was particularly selected to obtain information on its behaviour. A new long-term research programme will be undertaken on concrete made with six kinds of cement produced and on sale in Japan. These are normal Portland cement, moderate-heat Portland cement, high early strength Portland cement, Portland blast-furnace cement, silica cement and fly-ash cement. Two test series are proposed with cements differing in their SO_3 content.

Finally, there is a project on the durability of square pillars with deformed reinforcing bars.

Question 1B. Tests have been made to study the incidence of corrosion on bars buried in mortar. The corrosion was measured by potentiostatic, galvanostatic and electro-resistance methods. One objective was to evaluate the macro corrosion of bars at the cracked section. See reference [41].

Question 2. The Japan Society of Civil Engineering has published standard specification for concrete (1966 revised edition) and design standards on Port and Harbours structures (issued in 1968). Moderate-heat Portland cement is recommended because of its low content of C_3A . Certain conditions are specified for the minimum cement content and the maximum water/cement ratio. The Ministry of Transport specifications require a strength generally greater than necessary for structural purposes. No method of test for evaluating the durability of cement and concrete in sea water has been developed.

Question 3. The Ministry of Transport requires the addition of an air-entraining agent or water-reducing admixture with an air-entraining effect, to concrete for use in marine constructions, even where the concrete is not subject to frost action.

HÉMISPHERE SUD

OCÉAN PACIFIQUE - AUSTRALIE

Correspondant : D^r F. A. BLAKEY, Chef adjoint de la Division de recherches sur la construction, Victoria.

Question 2. Pas de prescriptions spéciales pour les ciments et bétons pour ouvrages maritimes.

OCÉAN INDIEN ET OCÉAN PACIFIQUE

RÉPUBLIQUE SUD-AFRICAINE

Correspondant : J. H. P. VAN AARDT, Institut national de recherches de la construction, Pretoria.

Question 1A. Des corrosions importantes des armatures en acier ont été étudiées sur des ponts situés le long de la côte de l'Océan Indien, dans un climat chaud et humide. Ils ne sont pas en contact avec la mer, mais avec l'air marin. Sur des ouvrages maritimes on a constaté des corrosions d'armatures et aussi quelques dégradations du béton lui-même sur la hauteur du marnage. Mais ces attaques ne sont pas sévères si le béton est de haute qualité, même s'il est fait de ciment Portland ordinaire.

Question 1B. Des recherches de laboratoire ont été faites sur la corrosion de l'acier dans le béton, par mesures de potentiels électriques et par l'exposition au brouillard salin d'éprouvettes de béton contenant de l'acier. Des études ont été faites également sur des éprouvettes de mortier immergées dans des solutions sulfatées. Elles ont montré notamment que la résistance aux sulfates des ciments de haut-fourneau dépend de la composition du clinker et de sa teneur en C³A, mais davantage encore de la composition du laitier et de sa teneur en Al₂O₃. Naturellement les proportions de clinker et de laitier importent aussi beaucoup. Bibliographie [42].

Divers moyens de prévenir la corrosion des aciers dans le béton ont été étudiés. La galvanisation n'est pas efficace, mais un revêtement mince de cadmium le serait [43].

Question 2. Des recommandations de 1968 [44] mettent principalement l'accent sur la nécessité d'éviter toute incorporation de chlorure dans le mélange du béton, par les armatures (à protéger de l'air salin) par les granulats (qui seront éventuellement lavés) et par l'eau, ainsi que par les adjuvants contenant des chlorures. Le rapport E/C sera inférieur à 0,46. Affaissement de 7,6 cm pour le béton, 5 cm en cas de vibration. Recouvrement minimal des armatures : 5 cm.

Le ciment Portland à durcissement rapide est à rejeter; le ciment de haut-fourneau est recommandé.

Question 3. Les seuls adjuvants autorisés sont des entraîneurs d'air exempts de chlorures. Le ciment Portland résistant au sulfate et le ciment Portland pouzzolanique sont peu employés.

SOUTHERN HEMISPHERE

PACIFIC OCEAN - AUSTRALIA

Correspondent: Dr. F. A. Blakey, Assistant Chief of the Building Research Division, Victoria.

Question 2. No special or specific acceptance and control tests for cements destined for use in concrete exposed to marine action.

INDIAN OCEAN AND PACIFIC OCEAN

REPUBLIC OF SOUTH AFRICA

Correspondent: J. H. P. van Aardt, National Building Research Institute, Pretoria.

Question 1A. Significant corrosion of steel reinforcement in concrete has been studied on bridges along the coast of the Indian Ocean, in a warm and humid climate. Many of the structures are not in contact with sea water but are exposed to the sea atmosphere.

Concrete constructions exposed to sea water along the South African Coast show corrosion of steel and some corrosion of the concrete itself, generally between low and high water levels. In most instances, attack on the concrete itself is not severe if it is of high quality, even when made with ordinary Portland cement.

Question 1B. Laboratory studies were undertaken on corrosion of steel in concrete. This included electro-potential measurements and exposure of reinforced concrete specimens to salt spray. Studies were also undertaken on mortar specimens exposed to sulphate solutions. These have mainly shown that the sulphate resistance of blast-furnace slag cement depends on the composition of the clinker and its C₃A content, and even more on the composition of the slag and its Al₂O₃ content. The proportion of clinker to slag have also a considerable influence. See reference [42].

Various methods of preventing the corrosion of steel in the concrete have been tested. Galvanizing is not effective, but a thin cadmium coating is beneficial [43].

Question 2. The recommendations of 1968 [44] stress principally the need to avoid introducing any chloride into the concrete mix; whether it originates from the reinforcement (protect the steel from the marine atmosphere), from the aggregates (to be washed), from the mix water, or from admixtures that contain chlorides. Water/cement ratio less than 0.46 is required with a slump of 3 inches: for vibrated concrete the slump should be 2 in. Minimum concrete cover of the reinforcement is 2 in. Rapid hardening Portland cement should be avoided; blast-furnace slag cement is recommended.

Question 3. The use of admixtures other than air-entraining agents should not be permitted and should contain no chloride. Sulphate resisting Portland cement and pozzolanic Portland cement are seldom used.

CONCLUSIONS PAR RAPPORT AUX BUTS DE L'ENQUÊTE

1. Synthèse des différents processus d'essai utilisés dans les laboratoires.

Les résultats de l'enquête montrent qu'il est très difficile d'établir cette synthèse. Il est tout au plus possible de dresser un inventaire incomplet des recherches en cours, qui sont très nombreuses et très variées. Bien que se répande de plus en plus l'opinion que l'eau de mer est modérément agressive, force est de constater que l'activité de recherche, tant fondamentale qu'appliquée, reste considérable et se développe dans tous les pays économiquement et scientifiquement avancés. C'est que l'eau de mer, qui pratiquement peut déjà causer seule des dégâts souvent appréciables, constitue surtout un élément d'aggravation d'autres agents de corrosion. Forte augmentation des effets du gel (Prof. INGE LYSE, Norvège); amplification des effets de l'abrasion par les galets (R.T.L. ALLEN, Royaume-Uni); cristallisation de sels grimpants (J. BROCARD et R. CIRODDE, France); forte corrosion des armatures par les chlorures, etc. Ce sont ces interactions diverses qui donnent aux problèmes leurs caractères complexes et leurs aspects multiples. Il en résulte que, même si toutes les questions fondamentales étaient élucidées, et il n'en est rien, la plupart des applications resteraient autant de cas particuliers justifiant des recherches, comme pour l'usine marémotrice de la Rance, par exemple.

Le développement économique mondial et l'accroissement des utilisations de la mer qui en résulte conduisent à la construction d'ouvrages en béton de plus en plus nombreux et de plus en plus importants dans la mer; c'est une nécessité, économique d'assurer leur durabilité dans le milieu marin propre. Par ailleurs, l'enquête a montré que les méthodes utilisées dans tous les laboratoires qu'elle a pu toucher étaient très semblables.

2. Méthologie commune en vue d'essais comparatifs.

En particulier, l'enquête a montré que de nombreux laboratoires de divers pays, notamment en Europe occidentale, ont effectué indépendamment des recherches qui préfigurent une méthodologie commune et la rendent donc possible. Il s'agit d'essais comparatifs sur le comportement de tous les liants hydrauliques dans l'eau de mer naturelle ou artificielle ou dans des solutions de sels agressifs, généralement des sulfates. L'attaque chimique est donc seule considérée, sans interaction quelconque, du moins en cas d'immersion totale permanente des éprouvettes. Il s'agit généralement d'éprouvettes de mortier et une convergence se dessine dans leurs dimensions, puisqu'on y trouve les formats $4 \times 4 \times 16$ cm, $2 \times 4 \times 16$ cm, $1 \times 4 \times 16$ cm et $0,4 \times 4 \times 16$ cm. On trouve également, mais moins fréquemment, des éprouvettes de béton, mais leurs caractéristiques sont encore assez diverses.

L'essai d'immersion de prismes de mortier prend un aspect plus complexe lorsque, en s'inspirant des travaux de MM. J. BROCARD et R. CIRODDE (France), l'immersion est alternée ou partielle et accompagnée de chauffage de l'ambiance. Encore que les ciments présentent des comportements diversifiés dans ces méthodes et souvent différents de ceux de l'immersion permanente totale, il n'en est pas moins certain que des facteurs physiques, différents de la résistance chimique propre, interviennent fortement dans le phénomène: ascension capillaire de solutions salines complexes, cristallisation de sels accompagnée d'expansion.

CONCLUSION REGARDING THE OBJECTIVES OF THE SURVEY

1. Synopsis of the different laboratory testing procedures.

The results of the survey make it difficult to formulate this synopsis. It is only possible to prepare an incomplete list of the researches in progress. These are numerous and highly diversified. Although the view that sea water is moderately aggressive is widespread, one is forced to state that the research activity, both fundamental and applied, is considerable and is developing in all the economically and scientifically advanced countries. Because sea water is itself capable of causing the damage often observed, it is a factor which reinforces the action of other corrosive agents. It aggravates the effects of frost (Professor Inge Lyse, Norway); it increases the abrasion by shingle (R. T. L. Allen, UK); it promotes the crystallisation of salts (J. Brocard and R. Cirodde, France); and it stimulates active corrosion of steel reinforcement by chlorides, etc. These interactions establish the complex character and the multiple aspects of the problem. As a result, even if all the fundamental questions could be answered, which is not the case, most of the applications would still remain as individual problems requiring some research effort; as for example the tidal power station of the Rance.

The economic development of the World and the increased use of the sea that springs from it, advances the construction of more and more concrete structures of increasing importance. It is an economic necessity to ensure their durability in marine environments. The survey has further shown that the methods in use in all the laboratories that could be approached are very similar.

2. Common methodology in comparative testing.

In particular, the survey has shown that various laboratories in several countries, notably in Western Europe, have proceeded independantly with investigations that employ a similar methodology and make a common methodology possible. The survey considers comparative tests on the behaviour of all types of cement in natural and artificial sea water or in solutions of aggressive salts, mainly sulphates. The chemical action is thus considered in isolation, without any complicating interactions — at least in the case of specimens permanently and totally immersed. The test specimens are generally made of mortar and a divergence of opinion appears regarding the most appropriate dimensions for the following sizes have been used: $4 \times 4 \times 16$ cm, $2 \times 4 \times 16$ cm, $1 \times 4 \times 16$ cm, $0.4 \times 4 \times 16$ cm. Less frequently, concrete specimens are used but even with these the dimensions are not standardised.

The immersion test of mortar prisms becomes more complicated when, for example in the work of Dr. Brocard and R. Cirodde (France), alternate immersion and exposure or partial immersion is considered, and further complicated by heating the environment. Although the cements show divergent behaviour in these methods and is often different to those under permanent total immersion, it is established nevertheless that the physical factors: capillary rise of complex salt solutions, crystallisation of salts accompanied by expansion and mecha-

sion et d'effets mécaniques dans les pores. Même dans la partie immergée en cas d'immersion partielle, le processus d'action de la solution agressive est modifié par le fait de sa circulation dans les pores vers la partie émergée.

Si ces phénomènes ont justement retenu l'attention, leur étude assez récente est loin d'être épuisée, aussi bien au point de vue des aspects fondamentaux que des modalités d'application. Leur étude sur bétons pourrait être plus significative que sur mortiers, car la structure interne du conglomerat joue certes un rôle dans les aspects physiques. Comme il existe une analogie depuis longtemps reconnue entre les effets de la cristallisation des sels dans les pores et la gélivité, les essais sur béton permettraient de rechercher les effets de certains adjuvants, tels que les entraîneurs d'air, qui sont moins facilement décelables dans les mortiers. Des essais rapides d'orientation permettent de croire que cette voie pourrait ne pas être stérile.

Enfin, il pourrait être opportun de tenir compte pour ces essais d'immersion de la notion d'eaux incrustantes ou non signalée par M. M. ROCHA (Portugal), qui peut être définie par un essai très simple de BAYLISS [35].

En conclusion, il semble qu'il existe des conditions satisfaisantes pour l'étude d'une méthodologie commune des essais d'immersion totale permanente. Un groupe de travail très restreint de la RILEM pourrait en être chargé.

anical effects in the pores, aside from the satisfactory chemical resistance, exert a strong influence on the behaviour. Even over the immersed part with partially immersed specimens, the active process of the aggressive solutions is modified by the flow from the pores of the submerged areas towards the exposed part. While these phenomena have justly received attention, their rather recent study is far from complete from a theoretical viewpoint as well as from the practical applications. A study on concrete could be more significant than on mortars, because the internal structure of the conglomerate certainly plays a vital role in determining the physical properties of concrete. Since there is already a recognised link between the effects of salt crystallisation in the pores and the decay by frost, tests on concrete would permit the study of the effects of some admixtures, such as air-entraining agents, which are more difficult to observe in mortars. Short term tests would indicate whether this method is feasible and profitable.

Finally, it would be appropriate to take into account in immersion tests the difference between scaling and non-scaling waters (mentioned by Rocha, Portugal). These may be readily determined by the very simple test of Bayliss [35].

To conclude, it appears that satisfactory conditions already exist to study a common technique for permanent total immersion tests. It is suggested that this could form the basis for a small working group of RILEM.

REFERENCES

- [1] Compte rendu des travaux du XVII^e Congrès international de Navigation, Lisbonne, 1949. Editor, Secrétariat Général de l'AIPCN, Bruxelles (also in English from PIANC Brussels).
- [2] CAMPUS, F. — *Rapport général du thème III du Colloque international RILEM sur le « Comportement des bétons exposés à la mer »*. Palerme, 1965, RILEM bulletin N° 30, mars 1966 (translation in English).
- [3] Investigation of Durability of Concrete exposed to natural weathering, Technical Memorandum N° 6-226, Report No. 5, Waterways Experimental Station, Vicksburg (Miss.).
- [4] Performance of Concrete exposed to natural weathering. Tech. Report No. 6-553, Vol. 1, and 2, Waterways Experimental Station, Vicksburg, Mississippi.
- [5] TYLER, I. L. — *Long term study of cement performance in concrete*. Chapter 12; Concrete exposed to Sea Water and Fresh Water. Journal, ACI 31, N° 9, p. 825-836. March 1960. Proceedings 56, reprinted in PCA Research Department Bulletin 114.
- [6] HANSEN, W. C. — *Twenty year report on the study of cement performance in concrete*. May 1965. PCA Research Department Bulletin 175.
- [7] MATHER, B. — *Effects of sea water on concrete*. Highway Record, N° 113, National Academy of Sciences, National Research Council, Washington, DC.
- [8] Performance of Concrete. Editor E. G. Swenson. University of Toronto Press, 1968, 243 pages.
- [9] BROCARD, J. and CIRODDE, R. — *Recherches sur la résistance des ciments, mortiers et bétons aux eaux de mer*. Rapport Final du Colloque international RILEM sur la durabilité des bétons, Prague, 1961.
- [10] BROCARD J. and CIRODDE, R. — *Recherches sur le comportement du béton en Méditerranée*. Colloque international RILEM, Palerme 1965. Cahiers de la recherche, N° 27, Edit. Eyrolles, Paris, 1968.
- [11] DUHOUX, L., MABILEAU, A., MATHIEU, G. et TESSIER, A. — *Trois communications sur les bétons de l'usine marémotrice de la Rance*. Bulletin RILEM, N° 32, septembre 1966.
- [12] BERNAERT, S. — *Annales de l'Institut technique du Bâtiment et des Travaux Publics*, N° 187-188, juillet-août 1963 et N° 198, juin 1964, Paris.
- [13] Articles de MM. Couprie et Bertrandry dans la Revue de Matériaux de Construction, Série « Ciments et Bétons », N° 585, juin 1964, Paris.
- [14] Note 3.1, N° 1, mars 1969 : « Bétons pour ouvrages à la mer ». Union Technique Nationale de Béton Armé et des Techniques Industrialisées, Paris.
- [15] GJØRV, O. E. — *Durability of reinforced concrete wharves in Norwegian harbours*, Matériaux et Constructions n° 12 (nov.-déc.) 1969
- [16] GJØRV, GUKILD and SUND. — *Investigation of concrete piles under varying conditions in sea water*. RILEM symposium, Palermo, 1965. RILEM bulletin, N° 32, 1966, p. 305 to 322.
- [17] LYSE, I. — *Durability of concrete in sea water*. Preliminary report of the RILEM international symposium on the durability of concrete, Prague, 1961.

- [18] The Durability of Reinforced Concrete in Sea Water. National Building Studies, Research paper N° 30, Building Research Station Garston, 1960.
- [19] ALLEN, R. T. L. and TERRETT F. L. — *Durability of concrete in coast protection works*. Proceedings of the 11th Conference on Coastal Engineering, 16-20th september 1968, London.
ALLEN, R. T. L. — *The abrasion of concrete in marine structures*. Confidential Departmental Notes, October 1967 and September 1968, of the Cement and Concrete Association, London.
- [20] STEELE, B. R. and HARRISON, W. H. — *Immersion tests on the sulphate resistance of concrete*. RILEM symposium on the Durability of Concrete, Prague, 1969. Preliminary report, Volume II.
- [21] SMOLCZYK, H. G. — *Hochfenzemente in chemisch angreifenden Wässern*. Beton-steinzeitung, Heft 1, January 1966.
Also, Some observations and new aspects concerning sea water action on concrete in the tidal zone. RILEM symposium, Palermo 1965. RILEM bulletin N° 32, September 1966.
- [22] COCHER, F. W. — *Untersuchung des Betons von Uferschutzbauten auf Helgoland*. Beton, Hefte 2 und 3, 1968.
- [23] HUMMEL, A. and WESCHE, K. — *Beton in Seewasser*. Deutschen Ausschusses für Eisenbeton, Hefte 120 und 124.
- [24] SCHWIETE, H. E., LUDWIG, U. and LÜHE, H. P. — I. *Resonanzfrequenzmessungen an in Wasser und aggressivenlösungen gelagerten Mörtelprismen*. — II. *Der Einfluss der Porosität auf die Aggressivbeständigkeit von Zementmörtelprismen*. Forschungsberichte des Landes Nordrhein Westfalen, Nr. 1720, 1967.
- [25] LUDWIG V. und SCHWIETE, H. E. — *Einfluss der offenen Porosität auf die Beständigkeit von Mörteln und Betonen gegen aggressive Lösungen*. Zement-Kalk-Gips, Nr 72, 1967.
- [26] WESCHE, K. and MANGEL, S. — *Influence de la température sur le béton attaqué par l'eau de mer*. Colloque RILEM, Palerme, 1965. Bulletin RILEM N° 32, septembre 1966.
- [27] SMOLCZYK, H. G. — *Chemical reactions of strong chloride solutions with concrete*. International Symposium on Cement Chemistry, Tokyo 1968.
- [28] CAMPUS, F. — *Rapport d'ensemble relatif aux essais et observations effectués sur des éprouvettes de mortiers et de bétons pendant une durée de 30 ans (1934-1964), dont un grand nombre ont été immergées en permanence dans la Mer du Nord à Ostende*. Annales des Travaux Publics de Belgique, N°s 1, 2 et 3, 1967.
Mémoires CERES, Nouvelle Série, N° 24, janvier 1960, Liège.
- [29] TENOUTASSE, N., VAN BEMST, A. et DE KEYSER, W. L. — *Contribution à la détermination de la nature des phases hydratées dans des mortiers immergés durant 30 ans*. Colloque RILEM, Palerme 1965. Cahiers de la recherche, N° 27. Édit. Eyrolles, Paris, 1968.
- [30] DUTRON, R. et PLISNIER, J. — *Résistance des ciments aux eaux sulfatées et agressives*. Colloque RILEM sur la durabilité du béton, Prague, 1969. Rapport préliminaire, Volume II.
- [31] TOUBEAU, G. — *Comportement en eau de mer de différents ciments en semi-immersion alternative et permanente*. Colloque RILEM sur la durabilité du béton, Prague, 1969. Rapport préliminaire, Volume II.
- [32] JASPERS, M. J. M. — *Contribution à l'étude expérimentale par l'essai Le Châtelier-Anstett (L-A) de la résistance des ciments aux sulfates et aux chlorures*. Revue des Matériaux de Construction, Série « Ciments et Bétons », N°s 633 et 634, juin et juillet 1968.
- [33] ROCHA, M., COUTINHO, A. et BEJA NEVES, A. — *État actuel des mortiers et bétons des ouvrages portuaires portugais*. XVII^e Congrès de l'AIPCN, Lisbonne 1949, Section II : Navigation maritime. Communication 2 : « Constatations récentes et précautions nouvelles à l'égard de la décomposition des mortiers et bétons dans l'eau de mer ».
- [34] DE SOUSA CONTINHO, A. — *Influence de la nature minéralogique de l'agrégat sur la décomposition des mortiers et bétons de ciment portland exposés à l'eau de mer*. Colloque RILEM, Palerme, 1965. Cahiers de la recherche, N° 27. Édit. Eyrolles, Paris, 1968.
- [35] DE SOUSA CONTINHO, A. et PERES RODRIGUES, F. M. — *Tenue à la mer de bétons fabriqués avec des agrégats décomposables*. Influence de la couche protectrice. Colloque RILEM, Palerme, 1965. Cahiers de la recherche, N° 27. Édit. Eyrolles, Paris, 1968.
- [36] SKOULIDIS, Th. et TASSIOS, Th. — *Corrosion des armatures de béton et leur protection par un nouvel additif*. Congrès international de la corrosion marine et des salissures, Cannes, juin 1963.
- [37] SKOULIDES, Th., SARROPOULOS, K., KARAGEORGOS et LIOKIS, H. — *Standardisation d'éprouvettes en béton armé sur la base des mesures dans l'eau douce et dans l'eau de mer avec ou sans protection cathodique*. I. Mesure du potentiel de corrosion.
- [38] HELLER, L. and BEN-YAIR, M. — *Effect of dead sea water on portland cement*. Journal Applied Chemistry, 12th november, 1962.
- [39] BEN-YAIR, M. and HELLER, L. — *The durability of pastes and mortars of portland cement exposed to dead sea water*. RILEM symposium, Palermo, 1965.
- [40] BEN-YAIR, M. — *The durability of cement and concrete in sea water*. 2nd European Symposium on fresh water from the sea, May 1967, Athens.
- [41] ZEN, K. — *Studies of protective methods of steel structures at harbours (1st report)*. Protective methods of hardened cement coating. Report of Port and Harbour Research Institute. Ministry of Transport of Japan. Vol. 5, N° 9, 1966.
- [42] VAN AARDT, J. H. P. and VISSER, S. — *The behaviour of mixtures of milled granulated blast furnace slag and portland cement in sulphate solutions*. CSIR Research Report 254, Pretoria.
- [43] BIRD, C. E. and STRAUSS, F. J. — *Metallic coating for reinforcing steel*. Materials Protection, Vol. 6, N° 7, July 1967. Houston, Texas.
- [44] FULTON, E. S., BIRD, C. E. and ZIETSMAN, C. F. — *Recommendations for the construction of reinforced concrete structures in marine environments*. Die Siviele Ingenieur in Suid Afrika, Januarie, 1968.