Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 53 (1927)
Heft: 24

Artikel: Durcissement des mortiers et bétons
Autor: Bolomey, J.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-41096

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.07.2025

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

53e année 3 décembre 1927 N° 24

BULLETIN TECHNIQUE
DE LA SUISSE ROMANDE

Réd. : Dr H. Demierre, ing. Paraissant tous les 15 jours

ORGANE DE PUBLICATION DE LA COMMISSION CENTRALE POUR LA NAVIGATION DU RHIN
ORGANE DE L'ASSOCIATION SUISSE D'HYGIÈNE ET DE TECHNIQUE URBAINES
ORGANE EN LANGUE FRANÇAISE DE LA SOCIÉTÉ SUISSE DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES

SOMMAIRE : *Durcissement des mortiers et bétons*, par J. Bolomey, Professeur à l'Université de Lausanne (suite et fin). — *Concours pour l'étude d'un projet de bâtiment à l'usage de la Bibliothèque nationale ainsi que pour l'installation du Bureau fédéral de la propriété intellectuelle et du Bureau fédéral de statistique, à Berne* (suite). — *L'autographe H. Wild.* — Divers : *Congrès international d'ingénieurs, à Tokio.* — *Section vaudoise de la S. I. A.* — Bibliographie. — *Nécrologie.* — *Société suisse des ingénieurs et des architectes.*

Durcissement des mortiers et bétons

par J. BOLOMEY, ingénieur,
Professeur à l'Université de Lausanne.

(Suite et fin[1].)

Influence de la température.

On sait que les basses températures ralentissent le durcissement et que celui-ci est accéléré par la chaleur. Les données précises sont cependant encore rares et incomplètes[2] et il importait de contribuer à l'étude systématique de l'influence de la température sur le durcissement.

Nous avons préparé, avec un même ballast exactement défini, diverses séries de bétons au même dosage et à la même consistance (même C/E), mais en utilisant des ciments différents, caractérisés par leur résistance à la compression (essai normal de Zurich). Ces bétons ont été conservés dans l'eau à des températures de 0°, +5°, +15°, +30° et +75° qui ont été maintenues constantes pendant toutes la durée du durcissement. Les résistances obtenues sont reportées sur les diagrammes 1 à 7 de la fig. 6.

Quelque incomplets qu'ils soient, ces essais permettent cependant de faire un certain nombre de constatations intéressantes :

a) L'influence de la température est très variable d'un ciment à l'autre, de sorte qu'il est impossible de fixer des coefficients uniformes applicables à tous les liants.

b) L'influence de la température, très marquée pendant les premières semaines du durcissement, s'atténue avec la durée de celui-ci.

c) Les meilleures résistances au delà de trois mois sont obtenues à la température de +15° et au-dessous.

d) Si la température atteint +30°, la résistance, après la rapide augmentation des premiers jours, ne croît ensuite qu'à une allure fortement ralentie ; elle est le plus souvent dépassée, dès l'âge d'un mois, par celle obtenue à la température de +15°.

e) Si la température atteint +75° le ralentissement du durcissement, qui suit le brusque saut du début, est encore plus accentué. Il se produit même parfois une *chute* de la résistance acquise. Ces anomalies sont peu marquées pour le portland ordinaire, déjà très sensibles pour le portland spécial et considérables pour le ciment alumineux.

A quelles causes faut-il attribuer ces derniers phénomènes ? Ces variations de température, relativement modérées, entraînent-elles une modification des combinaisons chimiques ou de l'ordre successif des diverses formations cristallines qui caractérisent le durcissement d'un ciment ? Il se peut, c'est même probable dans certains cas. Les actions purement physiques sont cependant souvent suffisamment intenses pour expliquer à elles seules les chutes de résistance constatées.

Les ciments sont en effet d'autant plus sensibles aux températures élevées que leur résistance à l'essai normal est plus grande et surtout que le rapport $R_{tract.}/R_{comp.}$ est plus faible. Les ciments utilisés pour les essais reportés sur la fig. 6 ont les caractéristiques suivantes :

Ciment N°	Essais normaux				$\frac{Rn\ tract.}{Rn\ comp}$		Résistance aux hautes températures
	Compression		Traction				
	7 j. kg/cm²	28 j. kg/cm²	7 j. kg/cm²	28 j. kg/cm²	7 j.	28 j.	
1 CP ord.	301	405	28,7	34,2	0,096	0,084	bonne
2 »	305	433	31,0	37,8	0,101	0,087	»
3 »	368	509	30,5	35,4	0,083	0,070	»
4 »	408	527	31,6	38,1	0,077	0,072	»
5 CP spéc.	518	629	37,2	44,2	0,072	0,070	médiocre
6 »	640	740	34,2	44,7	0,053	0,060	»
7 C. alum.	690	750	38,0	40,0	0,055	0,053	mauvaise

Le fait que la résistance à la traction (essais normaux) ne croît pas proportionnellement aussi rapidement avec l'âge que celle à la compression et que le rapport $R_{tract.}/R_{comp.}$ diminue à mesure que $R_{n\,comp.}$ augmente, dénote sûrement des troubles du durcissement dus à des tensions intérieures. Celles-ci sont provoquées par les cristallisations, par le retrait et par les variations de température et d'humidité.

La qualité d'un liant devrait être jugée, non seulement par la résistance à la compression ou celles à la flexion ou à la traction en valeurs absolues, mais encore par le

[1] Voir *Bulletin technique* du 5 novembre 1927, page 262.

[2] A consulter les intéressantes et instructives études :
« A treatise on concrete plain and reinforced » par *F. W. Taylor* et *S. E. Thompson.*
« Einflüsse auf Beton » par le Dr ing. *A. Kleinlogel*, Dr *Hundeshagen* et le *prof. O. Graf.* Pages 121-139 ; 374-395.

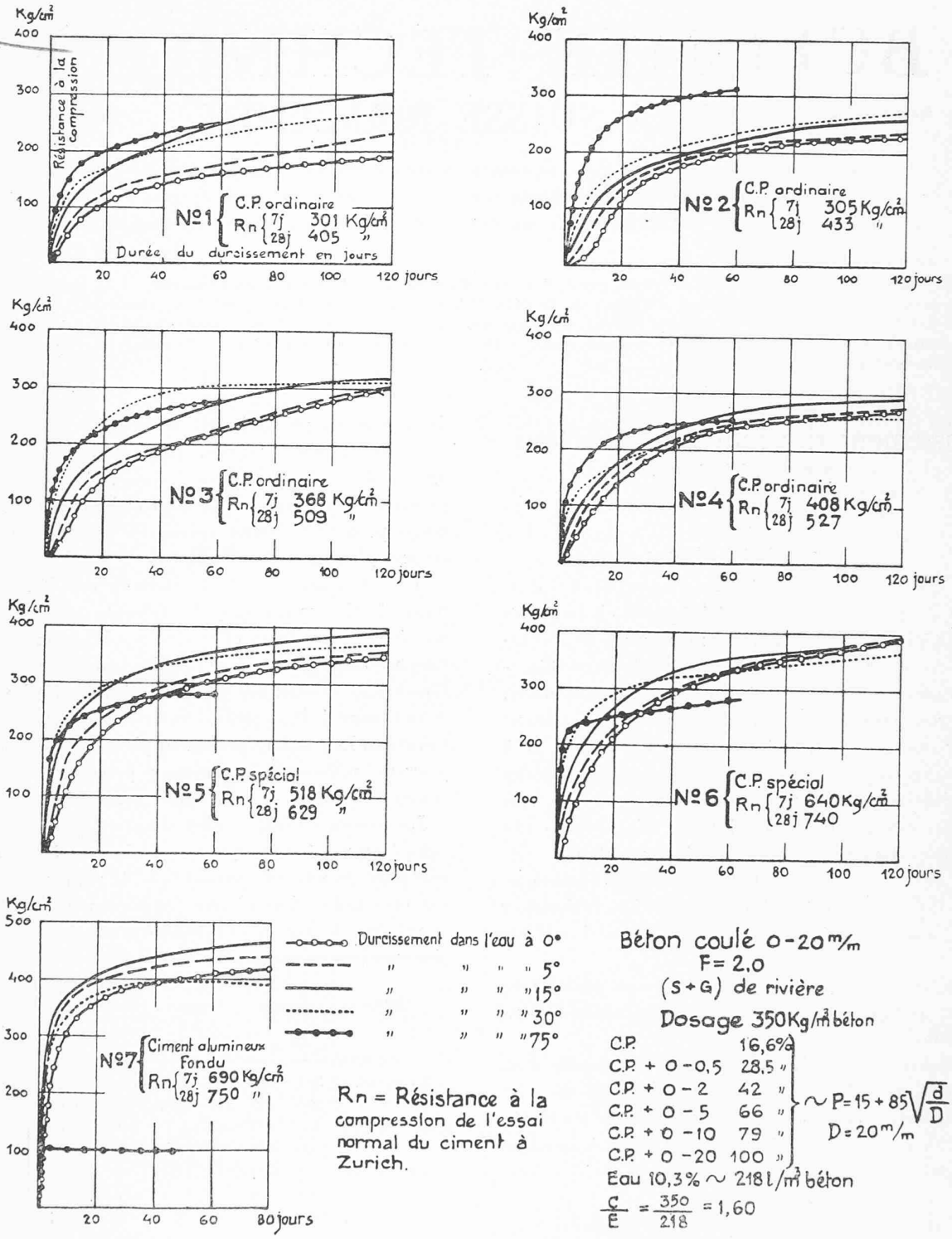

Fig. 6. — Influence de la qualité du ciment, de la température et de la durée du durcissement sur la résistance à la compression du béton.

coefficient de robustesse $R_{n\,tract.}/R_{n\,comp.}$ et la variation de celui-ci avec la durée et le mode de durcissement. Les essais normaux à la flexion, proposés par le *Laboratoire fédéral d'essai des matériaux*, de Zurich, fourniront certainement d'utiles renseignements à cet égard.

Les tensions intérieures pendant le durcissement seront d'autant plus intenses et influeront d'autant plus défavorablement sur la résistance apparente que les réactions chimiques et les cristallisations du début auront été activées par une élévation de température ou que le liant possède une plus grande énergie chimique. Si le mortier ou béton est déjà suffisamment résistant lorsque ces tensions intérieures se développent, il se produira un simple ralentissement du durcissement. Si au contraire ces tensions dépassent une certaine limite, il se produira à l'intérieur de la masse de béton une

multitude de ruptures partielles qui peuvent entraîner une *diminution* de la résistance à l'écrasement et surtout de celle à la traction. Dans les deux cas le processus des combinaisons chimiques et des cristallisations pourra être absolument identique, seules les propriétés mécaniques du béton seront modifiées.

D'autre part le coefficient de dilatation de la pâte liante peut différer suffisamment de celui du ballast utilisé pour créer des tensions intérieures à chaque variation de température.

Si les considérations ci-dessus suffisent à expliquer une certaine diminution de résistance des bétons au ciment portland exposés à des températures de +50 à +80°, elles ne permettent que difficilement de justifier, à elles seules, la défaillance du ciment alumineux exposé à ces mêmes températures.

Non seulement un béton au ciment alumineux durcissant dans l'eau à +75° (voir diagramme 7 de la fig. 6) n'acquiert qu'une résistance très inférieure à celle à laquelle on serait en droit de s'attendre, mais tous les bétons au ciment alumineux observés, même ceux qui ont durci préalablement dans de bonnes conditions, ont perdu de 40 à 80 % de leur résistance acquise, après avoir été exposés pendant quelques jours à une température dépassant +50°. Cette baisse de résistance, accompagnée parfois d'un changement de couleur qui passe du gris-noirâtre au brun-jaunâtre, doit être attribuée à une modification des combinaisons chimiques ou des formations cristallines. La perte de résistance est définitive et ne s'atténue pas si la température redevient normale.

De tels accidents[1], les « maladies du ciment alumineux », sont rarement observés sur les chantiers parce qu'il est exceptionnel qu'un béton dépasse la température de +30°, qui n'est pas encore dangereuse. D'autre part la résistance d'un béton au ciment alumineux aux dosages habituels est généralement telle qu'une chute de 50 % de celle-ci ne peut être constatée que par des essais comparatifs délicats dont nous donnons un exemple dans la tabelle ci-dessous.

Durcissement d'un béton au ciment alumineux dans l'eau à + 15° et à + 75°.

Dosage 350 kg. Ballast de rivière 0-20 m/m. $C/E = 1.60$.

Durée du durcissement en jours	Mode de durcissement	
	Dans eau à + 15° kg/cm²	Dans eau à +75° après 21 jours de durcissement dans l'eau à + 15° kg/cm²
3	260	260
7	355	355
14	358	358
21	378	378
28	375	88
45	398	91
60	396	98

[1] « Observations sur une maladie du ciment fondu », par *E. Freyssinet et A. Coyne.* — *Génie Civil*, 12 mars 1927.

« Der Einfluss der Erhärtungstemperatur auf die Mörtelfestigkeit eines Tonerdezementes », par *A. F. Roscher Lund.* — *Zement*, N° 34 du 25 août 1927.

Suivant ces études, qui se rapportent plutôt à la prise qu'au durcissment, la température critique est d'environ +37°.

A moins d'effectuer des essais de rupture ou à la bille on reconnaît difficilement sur le chantier que la résistance est tombée de 350 à 90 kg/cm².

* * *

Ces inconvénients du ciment alumineux étant connus, l sera facile de les éviter en écartant d'emblée l'emploi de ce liant pour toutes les constructions dont, pour une cause ou l'autre, la température peut dépasser +30°. Par contre le rapide durcissement aux basses températures du ciment alumineux pourra rendre de très précieux services dans des conditions ou un béton au ciment portland risquerait d'être détruit par le gel. A 0°, dosage 350 kg., $C/E = 1.60$, (voir diagrammes de la fig. 6) la résistance de 200 kg/cm² est atteinte après 3 ½ jours pour le ciment alumineux, 19 jours pour le *CP* spécial et entre 38 et 120 jours pour le *CP* ordinaire. Celle de 100 kg/cm² est atteinte après deux jours pour le ciment alumineux, 7 jours pour le *CP* spécial, 13 à 19 jours pour le *CP* ordinaire, etc.

Nous remarquons encore sur la fig. 6 que le ciment portland N° 2 sera très sensible au gel les premiers jours de son durcissement, mais que par contre il résistera parfaitement à de hautes températures. Le ciment alumineux N° 7 a des propriétés exactement inverses. Le premier a un $R_{n\ tract.}/R_{n\ comp.}$ près du double du second.

Chaque liant a ainsi ses propriétés particulières qu'il serait utile de connaître pour justifier dans quelles conditions déterminées son emploi est le plus rationnel.

Influence du mode de durcissement à l'air ou dans l'eau.

L'influence du mode de durcissement est souvent bien plus considérable que généralement admis, notamment s'il s'agit de constructions exposées à l'air sec et à de fréquentes et assez considérables variations de température.[1]

La fig. 7 reproduit trois séries d'expériences comparatives effectuées sur un mortier et deux bétons dont certains échantillons ont durci dans l'eau, d'autres à l'air. A partir de 14 à 28 jours tous les cubes conservés à l'air ont une résistance à la compression très inférieure à celle qui est fournie au même âge par les cubes ayant durci dans l'eau. Le durcissement des premiers *paraît* complètement arrêté au bout de quelques semaines, tandis qu'il se poursuit normalement pour les seconds. A l'âge de 4 mois la résistance peut varier du simple au double suivant le mode de conservation des éprouvettes.

Le durcissement le plus intense, au moins pendant les premières semaines, est fourni par les cubes qui, après avoir été conservés quelques jours dans l'eau,

[1] Voir aussi dans « Einflüsse auf Beton » par le prof. Dr ing. *A. Kleinlogel*, avec la collaboration du Dr Hundeshagen et du prof. O. Graf, les articles de celui-ci sur l'influence du mode de durcissement du béton à l'air, ou dans l'eau, sur l'étanchéité, l'élasticité, l'adhérence du fer au béton, la résistance à l'usure, ainsi que sur le retrait et le gonflement du béton.

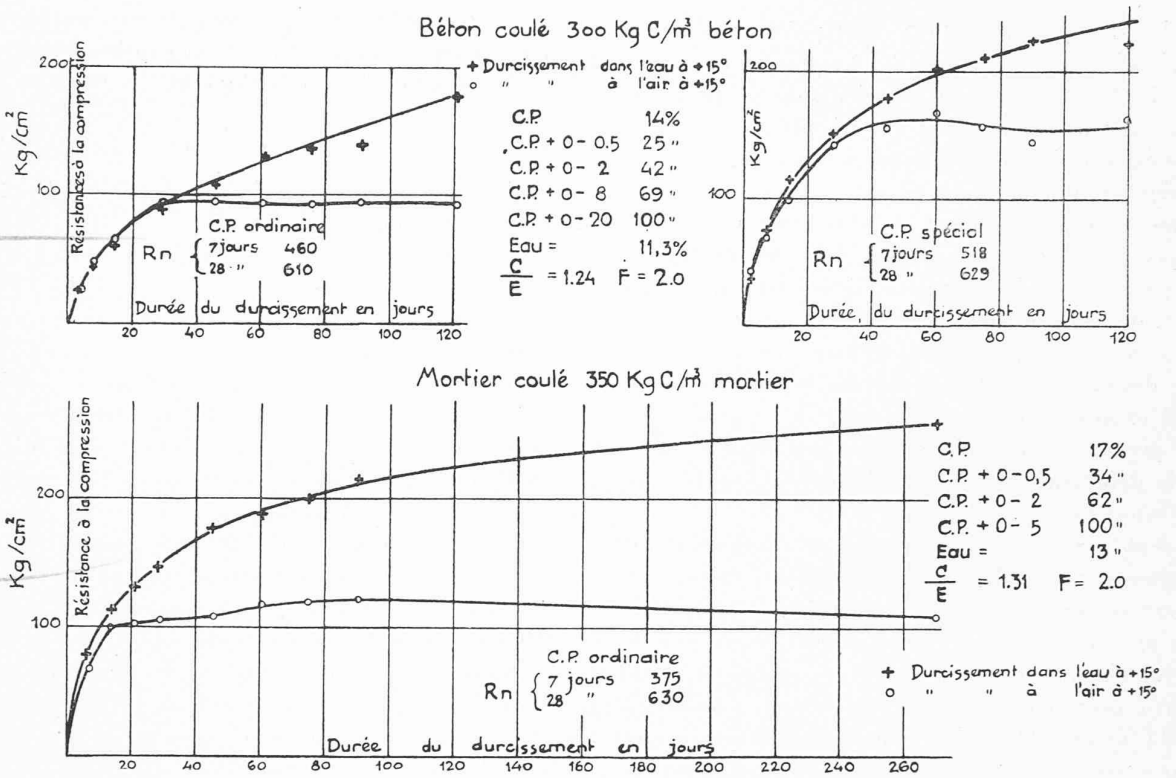

Fig. 7. — Influence du mode de durcissement sur la résistance des mortiers et bétons.

sont ensuite gardés à l'air tout en étant fréquemment arrosés (durcissement mixte). Si cependant nous avons choisi comme durcissements-types ceux dans l'eau et à l'air sans arrosage, c'est qu'ils correspondent à de nombreuses applications sur les chantiers et que seuls ils peuvent être exactement et facilement réalisés au laboratoire.

Bien que les cubes conservés à l'air présentent dans certains cas une *diminution* de résistance avec l'âge, il ne semble pas qu'il faille attribuer ce phénomène à une modification des combinaisons chimiques (à part la carbonatation de la chaux libre) ou à un arrêt de l'hydratation du ciment. Nous avons en effet contrôlé que le béton sec, dont le durcissement paraît arrêté, peut contenir encore jusqu'à 4 % de son poids d'eau qui s'évapore si le cube est chauffé pendant une quinzaine de jours à +50°. Cette eau, retenue par capillarité, est amplement suffisante pour assurer l'hydratation complète du ciment. D'autre part si l'on replace dans l'eau ce béton, dont le durcissement semblait arrêté, on constate que sa résistance reprend une marche ascendante, bien qu'à une allure ralentie.

L'arrêt de l'augmentation de résistance des bétons maintenus secs doit être attribué au retrait. Sous l'action de celui-ci, d'autant plus énergique que le béton sèche plus rapidement, il se produit des efforts internes suffisamment intenses pour provoquer la formation de tout un réseau de fissures. La présence de celles-ci entraîne à son tour une chute de résistance à la compression et surtout de celle à la flexion, pouvant être parfois plus importante que l'augmentation de résistance due au durcissement. La diminution du rapport $R_{n\ tract.}/R_{n\ comp.}$ avec l'âge (essais normaux du ciment) est certainement due au retrait et pourrait servir à déterminer l'importance de celui-ci.

La fig. 8 indique, à l'échelle 3 : 5 environ, la fissuration du glaçage d'un enduit ayant séché trop rapidement. Les crépissages et joints au ciment des maçonneries

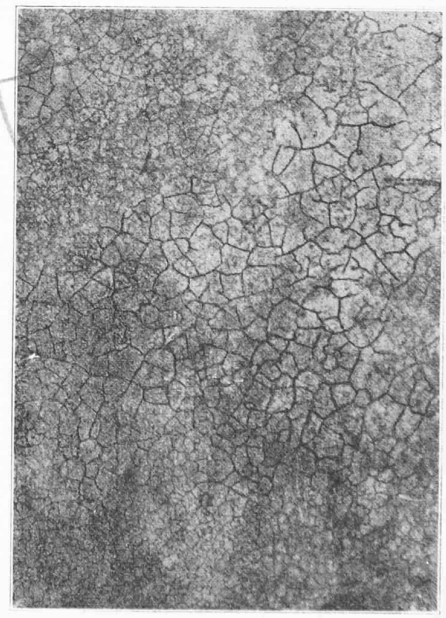

Fig. 8.

exposées à la sécheresse présentent aussi très fréquemment des défauts analogues qui peuvent entraîner leur destruction progressive, s'ils sont exposés au gel.

Il est plus rare de pouvoir constater une fissuration à mailles serrées sur les constructions en béton. Lorsqu'elle existe, elle est le plus souvent si fine qu'elle ne peut être observée, même à la loupe. Pour la mettre nettement en évidence il faut recourir aux essais d'étanchéité qui sont tout à fait caractéristiques à cet égard.

Tous les cubes que nous avons conservés dans l'eau à +15° et qui ont été ensuite soumis à l'essai d'étanchéité (pression de 8 at.) se sont montrés complètement ou presque complètement étanches, tandis que tous les cubes, provenant des mêmes gâchées, mais qui ont été conservés à l'air, ont accusé une perméabilité plus ou moins prononcée. Nous avons effectué près d'une centaine d'essais comparatifs avec des ciments, ballasts, dosages etc. différents, nous avons toujours constaté que les cubes conservés à l'air accusaient une perméabilité au moins 100 fois plus grande que celle des mêmes bétons ayant durci dans l'eau. Ces différences de propriétés de cubes de béton provenant des mêmes gâchées et mis en œuvre dans les mêmes conditions ne peuvent s'expliquer que par une fissuration très serrée due au retrait auquel s'opposent les gros grains du ballast.

On sait que la perméabilité du béton, relativement considérable au début, diminue progressivement avec la durée de l'essai. A quelles causes attribuer cet étanchement naturel qui se produit même si l'eau est tout à fait pure ? Les diverses explications données jusqu'ici sont loin d'être satisfaisantes et ne correspondent pas avec la constatation, facile à faire, que l'eau qui a traversé le cube est plus minéralisée que lors de son entrée. Un colmatage paraît par suite tout à fait improbable à moins que l'eau ne soit limoneuse. Notre hypothèse permet de donner une réponse plausible : Sous l'effet du retrait il s'est produit une fissuration microscopique qui livre passage à l'eau sous pression. Soumis à l'essai d'étanchéité le béton se sature d'eau et gonfle progressivement jusqu'à reprendre sensiblement son volume d'avant le retrait, les fissures se referment et les pertes diminuent. Cette supposition est corroborée par les faits d'expérience suivants :

a) La perméabilité diminue tout aussi rapidement si le béton est placé dans l'eau pure, tranquille, où tout colmatage ou transport de particules est exclu, qu'au cours de l'essai d'étanchéité habituel.

b) Les bétons rendus imperméables par l'essai d'étanchéité perdent cette qualité, au moins en partie, s'ils sont ensuite de nouveau exposés à l'air sec.

c) Si l'essai a été prolongé pendant une longue durée, le cube de béton aura perdu une partie de son poids primitif et, dans certains cas, de sa résistance. Il peut même arriver que le cube se rompe par suite de l'entraînement par dissolution d'une grande partie du ciment.

* * *

La qualité du béton, c'est-à-dire sa résistance mécanique, son imperméabilité et par suite sa résistance au gel et aux actions chimiques, est fortement influencée par le retrait. Les effets nuisibles de celui-ci peuvent être grandement réduits si l'on assure un bon durcissement. Ce résultat sera obtenu en maintenant aussi longtemps que possible le béton humide et à une température modérée. Ce n'est qu'à ces conditions que les formules de résistance indiquées au début de cette étude seront exactement applicables.

Comme il est rare que toutes les conditions de durcissement optimum puissent être réalisées sur les chantiers, il suffira d'utiliser une formule de résistance approchée, mais simple, et de tenir compte des imperfections inévitables au moyen du coefficient de sécurité.

Salvan, septembre 1927.

Concours pour l'étude d'un projet de bâtiment à l'usage de la Bibliothèque nationale ainsi que pour l'installation du Bureau fédéral de la propriété intellectuelle et du Bureau fédéral de statistique, à Berne.

(Suite[1].)

« Gutenberg ». L'implantation est acceptable pour autant que les terrains situés au nord du bâtiment projeté pourront être aménagés conformément au plan général établi par l'auteur. La disposition des locaux répond aux exigences techniques de la bibliothèque. Les bureaux du rez-de-cahussée sont trop profonds. L'éclairage est bon, en général. Le cube est avantageux (49 000 m³). L'architecture des façades est inférieure à la distribution du bâtiment. Néanmoins le jury reconnaît l'effort qu'a fait l'auteur pour donner à son bâtiment un caractère propre en traitant différemment la partie réservée aux magasins et celle réservée aux bureaux.

« B. N. ». L'implantation est bonne. En revanche la proposition de souder par la suite d'autres bâtiments à celui de la bibliothèque n'est pas judicieuse. Disposition des locaux satisfaisante dans le corps central, moins favorable dans les ailes. L'éclairage de la salle de lecture est en partie défectueux. L'idée d'un jardin annexé à la salle de lecture est intéressante. Le cube est favorable (47 000 m³). L'architecture des façades est logiquement conçue.

« Einheit ». L'implantation est acceptable à condition toutefois que l'aménagement général proposé, au nord, puisse être réalisé. Le groupement des locaux est bon ; il en est de même des communications. Il manque cependant un escalier principal. Les bureaux des étages supérieurs sont trop profonds et une partie d'entre eux ne sont pas suffisamment éclairés. A part cela, bon éclairage en général. Le cube du bâtiment (48 200 m³) est favorable et permet un groupement avantageux des locaux dans un espace assez réduit. L'architecture des façades est moins bonne que la distribution du bâtiment.

« Aufbau ». L'implantation est acceptable. La disposition des locaux est bonne, de même que les communications. La création de cages d'escaliers dans les magasins de livres est critiquable. L'éclairage est généralement bon. Le cube est admissible (56 000 m³). L'architecture des façades, par contre, n'est pas heureuse.

[1] Voir *Bulletin technique* du 19 novembre 1927, page 280.