

Béton défectueux

Autor(en): **Arp, D.**

Objekttyp: **Article**

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

Band (Jahr): **2 (1936)**

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-3098>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

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

VI 3

Béton défectueux.

Mangelhafter Beton.

Defective Concrete.

Ministerialrat D. Arp,

Reichs- und Preußisches Verkehrsministerium, Berlin.

Malgré les grands progrès réalisés au cours de ces dernières décades dans la construction des ouvrages en béton et en béton armé, on doit cependant convenir que l'on est encore bien loin de l'utilisation parfaite de ce matériau. On entend souvent parler de détériorations causées par le gel ou l'attaque d'eaux ou de terrains acides sur des constructions en béton; ces ouvrages ne sont pas restés étanches ensuite de l'insuffisance de liant, de la mauvaise granulation des matériaux additionnels, ou d'une mise en oeuvre peu soignée, ayant pour résultat une répartition inégale des liants et des matériaux additionnels. Ne voit-on pas souvent des ouvrages où l'eau suinte par de nombreux joints de bétonnage horizontaux et provoque de laides et inquiétantes efflorescences? On voit aussi souvent le crépissage, même lorsqu'il a été appliqué à l'air comprimé, se gonfler et s'écailler, ce qui donne à l'ouvrage entier l'aspect d'une ruine. Quel ouvrage de quelque importance ne présente point de fissures? Souvent, seul l'observateur le plus exercé les voit et s'en inquiète. Il ne suffit pas de savoir que dans la plupart des cas ces fissures ne pénètrent pas profondément dans le béton; il est extrêmement difficile de déterminer avec certitude la profondeur qu'atteint la fissure. Les fissures sont en général plus profondes qu'on ne le pense. On entend dire aussi que les fissures situées dans la zone d'extension des ouvrages en béton armé ne mettent pas en danger l'existence des fers lorsqu'elles ne dépassent pas une certaine largeur à la surface; je suis cependant d'avis que toutes les fissures sont dangereuses et qu'elles prouvent l'existence de fautes commises dans la construction ou la mise en oeuvre; ces fautes sont à éviter dans tous les cas. Lors de la visite de beaux ponts en béton armé de construction récente, j'ai souvent constaté avec regret des détériorations du béton, provenant de la rouille, là où les étriers n'avaient pas été tenus à une distance suffisante du coffrage.

Ces défauts seraient plus rares si les prescriptions en vigueur étaient observées avec plus de compréhension et si, lors de l'exécution, chaque surveillant et chaque ouvrier était pénétré de la sensibilité de l'ouvrage et de l'importance du soin apporté à son travail. Il serait peut-être recommandable de rendre ces prescriptions plus sévères encore, par exemple en ce qui concerne le recouvrement minimum des fers, la courbe de tamisage des matériaux additionnels ou la proportion maxima et minima d'eau de gâchage.

Quant au danger de rouille dans les constructions délicates, je ne peux que regretter l'emploi si restreint de la galvanisation des fers, qui est pourtant une protection très efficace. Il est établi depuis longtemps que la galvanisation n'amointrit en rien l'adhérence.

En ce qui concerne la consistance, des résultats de laboratoire et des considérations théoriques ne doivent en aucun cas nous ramener du béton plastique au béton à consistance de la terre humide. Le béton doit toujours être suffisamment mou pour remplir le coffrage sous l'effet de son propre poids et devenir le plus compact possible, même si les surveillants et les ouvriers ne travaillent pas avec soin. La mise en oeuvre par pompage s'est à bon droit développée considérablement en Allemagne. La consistance pâteuse employée dans ce cas est excellente. Le béton mis en oeuvre ne doit pas contenir plus de 9% d'eau, par rapport au mélange sec. La pompe à béton ne permet jusqu'ici malheureusement pas l'emploi de gravier de dimensions supérieures à 80 mm. Dans toutes les constructions en béton de quelque importance exécutées au cours de ces dernières années au canal du Mittelland, le béton amené à pied d'oeuvre par pompes, tapis roulants, goulottes ou autres a été réparti dans le coffrage par le procédé « Kontraktor » au moyen de tubes à entonnoirs fixes, donc d'après la méthode prévue primitivement pour l'amenée du béton sous l'eau. La caractéristique de ce procédé consiste en un raccourcissement progressif des tubes par le haut au fur et à mesure de l'élévation du niveau du béton, de manière que l'extrémité inférieure du tube soit toujours à un même niveau au-dessous de la surface du béton. Le nombre des tubes à entonnoir se détermine d'après la grandeur et la forme de la base du bloc à bétonner. Toutes les constructions, sans exceptions, ont montré que le béton ainsi coulé à l'air et montant régulièrement autour du tube était d'une régularité et d'une compacité remarquables. Les boues de ciment se déposent ni à l'intérieur ni à la surface. Dans ces constructions on évita autant que possible les joints de bétonnage horizontaux; les blocs sont donc réellement monolithiques. A l'écluse double d'Allerbüttel par exemple, les murs d'une hauteur de 14,3 m et d'une largeur de 9,3 m à la base ont été construits de la manière décrite, en blocs d'environ 15 m de longueur, bétonnés de bas en haut *en une seule fois* et sans joints horizontaux. Tout l'équipement des murs, cornières protectrices, verticales et horizontales, échelles de service, etc. a été monté sur le coffrage et pris ainsi dans le béton; il en est de même des cadres d'étanchéité et des rails conducteurs des portes d'écluse, des vannes à rouleaux, etc. qui sont pris dans les têtes d'écluse.

Quelle que soit la perfection de ces ouvrages, certaines de leurs parties présentent cependant l'un des défauts mentionnés plus haut, en l'espèce des fissures, en partie fines et superficielles, en partie aussi plus profondes et même traversant toute la masse de béton. On rencontre beaucoup moins ces fissures dans les blocs construits au cours de la saison froide, ce qui prouve que la température joue un rôle très important. Dans les grands blocs, les fissures se formeront là où les tensions résultant des charges, du retrait et de la température atteignent un maximum, dépassant la résistance à la traction du béton. Les tensions de retrait provenant du durcissement ont peu d'importance pour les gros blocs en béton tels que les murs d'écluse, les barrages et ouvrages analogues, car — abstraction faite d'une mince couche superficielle — l'humidité est suffisante

à l'intérieur du béton pour empêcher le retrait. Les tensions dues aux variations de température sont surtout cause de la formation des fissures dans les murs massifs. Ces tensions secondaires sont considérables et en général on n'en a pas tenu compte dans le calcul de la stabilité; elles sont un danger pour le béton à une époque où sa résistance n'a pas encore atteint une valeur bien grande.

Le plus souvent on observe dans les murs des fissures verticales. Elles sont les moins dangereuses, car, en somme, elles ne représentent que des joints supplémentaires; leur défaut réside surtout dans la diminution de l'étanchéité. On constate aussi des fissures horizontales, celles-ci sont déjà plus inquiétantes. Les fissures longitudinales sont les plus dangereuses, car elles affaiblissent la cohésion de l'ouvrage calculé sur la base d'une section uniforme. On ne peut les découvrir dans les ouvrages en service que s'il y a des canaux intérieurs, comme par exemple les canaux de dérivation dans les écluses ou les tunnels d'accès et de contrôle dans les barrages. *Vogt*¹, qui a étudié presque tous les barrages du monde achevés avant 1930, cite de nombreux exemples de fissures verticales et longitudinales constatées dans des barrages. Il ne cite que peu de barrages n'ayant aucune fissure. Il en est de même pour les barrages construits en Allemagne depuis 1930 et que le professeur *Ludin* décrit dans son rapport de la Publication Préliminaire de ce Congrès.

On reconnaît que les contraintes dans le béton peuvent atteindre de très grandes valeurs sous la seule influence des variations de température si l'on se représente les changements de température auxquels sont soumis les gros blocs de béton, et les déplacements qu'ils tendent à effectuer sous cette influence. Le béton coulé à la température de $+25^{\circ}\text{C}$ durcit bientôt selon les dimensions du coffrage, mais doit ensuite se contracter pour occuper le volume correspondant à la température annuelle moyenne, qui est par exemple de $+10^{\circ}\text{C}$; pour un coefficient de dilatation de 0,000012, un bloc de 15 m de long, ainsi exécuté, se rétrécira de 2,7 mm par son refroidissement à la température annuelle moyenne, si toutefois il a la faculté d'effectuer ce mouvement.

Les effets les plus importants sont causés par l'élévation de température que subissent les gros blocs lors de la prise du béton. Pour les mélanges usuels, on constate des élévations de température de 35 à 40° à l'intérieur du béton des murs d'écluses, qui ne sont cependant pas très épais. Les grands barrages massifs peuvent présenter des différences de température encore plus grandes entre l'intérieur et l'extérieur car le dégagement de chaleur d'un bloc est limité par les blocs voisins construits peu avant ou peu après. On peut se représenter quelles contractions subit un bloc en se refroidissant lentement jusqu'à sa température définitive si l'on pense qu'un bloc d'environ 1000 m^3 , dont la température était de $+25^{\circ}\text{C}$ lors de la mise en oeuvre et dans lequel la chaleur de prise a provoqué une élévation de température de 40°C , se contracte lors de son refroidissement à $+10^{\circ}\text{C}$, de près de 2 m^3 par rapport à son volume maximum.

Le roc dans lequel est implanté le barrage ne participe que très peu aux dilatations et aux contractions du béton; les blocs de base, en partie refroidis, d'un grand barrage massif limitent à leur tour les mouvements des blocs fraîchement mis en oeuvre. Dans un barrage en béton, il se produit de nombreux

¹ Prof. Dr. *F. Vogt*: Shrinkage and Cracks in Concrete of Dams, D.K.N.V.S. Skrifter Trondheim 1930, N^o. 4.

mouvements de va et vient qui engendrent de fortes contraintes avant même que la pression hydrostatique ait pu se faire sentir. Il est donc très difficile de déterminer le vrai système de sollicitation d'un tel mur, en particulier au cours des premières années qui suivent le remplissage.

Que peut-on et que doit-on faire pour réduire autant que possible la formation des fissures dans le béton? Il faut naturellement choisir un ciment particulièrement approprié dont la résistance à la traction et la possibilité d'allongement soient aussi grandes que possible, qui en outre se rétrécit peu et avant tout dégage le moins de chaleur possible. En Allemagne, on a ajouté au ciment, lors de la construction de presque tous les barrages récents, d'autres matériaux, surtout du trass, remplacé aussi dans quelques cas par d'autres matières silicieuses, par exemple du thurament, un laitier de hauts fourneaux moulu mais sans autre préparation. Au barrage de la Saale près de la Hohenwarte, actuellement en construction, on utilise un mélange à trois composants: ciment portland, trass et thurament dans la proportion 36:24:40 exprimée en poids. Il faut cependant avouer que, malgré le choix et la proportion judicieux des liants, on ne peut abaisser que dans une faible mesure les tensions secondaires qui peuvent provoquer des fissures.

Pour ne rien perdre de la résistance, il faut opérer avec un rapport eau-ciment aussi faible que possible. Faut-il alors revenir, par crainte des fissures, au béton à consistance de la terre humide, mis en oeuvre sous forme de minces couches damées ou vibrées, afin de permettre à la chaleur de passer à l'air environnant? Je suis d'avis que le béton feuilleté est le plus mauvais de tous les bétons. Lors de la construction d'un barrage de plusieurs centaines de milliers de m³ de béton, on n'a d'ailleurs pas le temps de ralentir l'exécution des couches au point d'éviter l'accumulation de la chaleur de prise.

Plus le mélange est gras, plus le retrait est fort et par conséquent aussi la chaleur de prise. On utilisera donc autant que possible du béton maigre. Mais on ne peut pas exiger du béton maigre qu'il soit étanche et qu'il résiste aux agents chimiques et aux intempéries. Dans quelques barrages récents, on a donc exécuté l'épais noyau en béton maigre, par contre la couche extérieure d'amont et d'aval en béton gras, dans l'espoir de réduire les mouvements du mur, causés par le retrait et les variations de température. Mais est-on certain que les contraintes dans la zone séparant le béton gras du béton maigre ne dépassent pas les taux de fatigue admissibles et qu'avec le temps il ne se formera pas de fissures longitudinales qui pourraient menacer la stabilité de l'ouvrage? Je ne saurais recommander un tel mode d'exécution. Je suis en principe d'avis de n'utiliser nulle part dans les travaux hydrauliques un béton maigre là où le béton peut entrer en contact avec l'eau d'une manière ou d'une autre. Les termes «béton maigre» et «béton économique» devraient disparaître complètement du vocabulaire technique.

Ayant ainsi montré l'inefficacité et même le danger des méthodes citées ci-dessus, cherchant à éviter la fissuration, je ne vois plus qu'une possibilité pour atteindre ce but: la réfrigération du béton.

On peut refroidir les composants du béton avant et pendant que l'on fait le mélange ou le béton lui-même après l'avoir coulé dans le coffrage ou employer simultanément les deux méthodes. La réfrigération du mélange est rationnelle durant la saison chaude; on peut ainsi abaisser fortement la courbe calorifique.

Ce faisant, on n'agit cependant pas directement sur le développement de la chaleur dangereuse de prise. Cet effet ne peut être atteint que par la réfrigération du béton coulé dans le coffrage.

L'arrosage permanent de tous les ouvrages en béton frais et non durci, dans le but de compenser la dessiccation, d'amener aux couches superficielles l'eau nécessaire au processus de la prise et d'empêcher le retrait a naturellement pour effet une diminution de la température du bloc de béton; cet effet ne saurait cependant se propager jusqu'à l'intérieur des très gros blocs.

Au barrage du Grimsel en Suisse, ainsi qu'à d'autres barrages, on a aménagé de longs interstices entre les gros blocs à l'endroit des joints de séparation et aussi de certains joints provisoires verticaux; on ne les a remplis que beaucoup

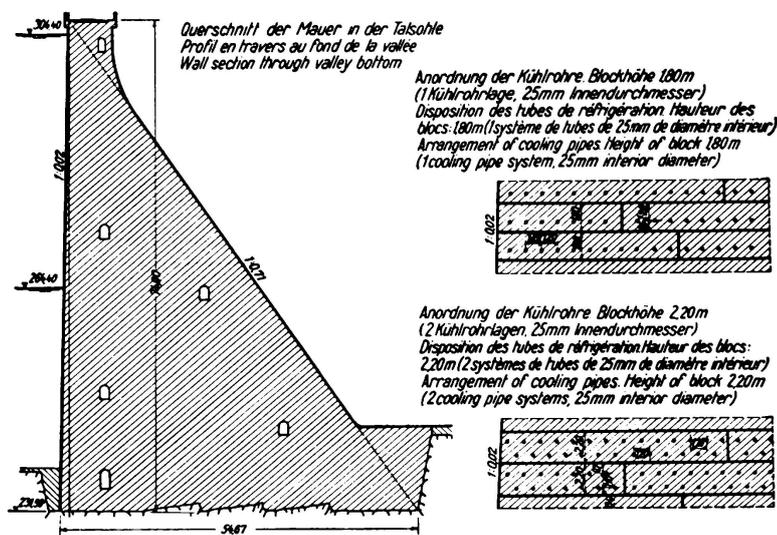


Fig. 1.

Profil en travers du barrage de la Haute Saale, près de Hohenwarte et représentation du dispositif de réfrigération interne du béton.

plus tard, afin de permettre à la chaleur de se dégager plus rapidement. Je ne possède aucun renseignement précis sur le succès de ce procédé. Il est cependant évident que l'on ne peut produire ainsi un effet uniforme dans le but d'éviter la fissuration due aux écarts de température.

Le procédé de réfrigération intérieure du mur de béton par un système de tuyaux répartis uniformément sur toute la section, à intervalles pas trop grands, me paraît seul rationnel. Les ingénieurs américains ont appliqué cette méthode avec succès à la construction du Boulderdam sur le Colorado. Il est vrai que le but de cette réfrigération n'était pas d'éviter la fissuration due aux écarts de température, mais le désir d'amener le plus vite possible les secteurs du barrage arqué à leur volume définitif afin de pouvoir boucher les joints de bétonnage par des injections de ciment pour rendre le barrage capable de supporter la pression hydrostatique. L'absence de fissures passait au second plan.

Le succès remporté au Boulderdam influença la décision des ingénieurs allemands en faveur de l'application de la réfrigération intérieure du béton pour la construction du barrage de la Haute Saale près de la Hohenwarte, dont le

bétonnage commencera vers la fin de 1936. Il ne s'agit pas ici d'un barrage en arc mais d'un barrage massif. Le remplissage des joints de bétonnage n'a donc pas une grande importance. Ici, la réfrigération ne sera appliquée que pour absorber la chaleur de prise dans une mesure telle que cette chaleur ne puisse pas engendrer de contraintes dangereuses et, par suite, de fissures. La fig. 1 montre la répartition des tubes de réfrigération sur la section, à l'intérieur des blocs. L'intervalle horizontal des tubes métalliques est de 1,2 m, leur diamètre intérieur est de 25 mm. La distance verticale des tubes dépend de l'épaisseur des couches, qui, elle, n'est pas encore déterminée. Si cette épaisseur est de 1,80 m, l'éloignement vertical des tubes de réfrigération sera aussi de 1,80 m mais si les couches ont une hauteur de 2,20 m on appliquera deux rangées de tubes

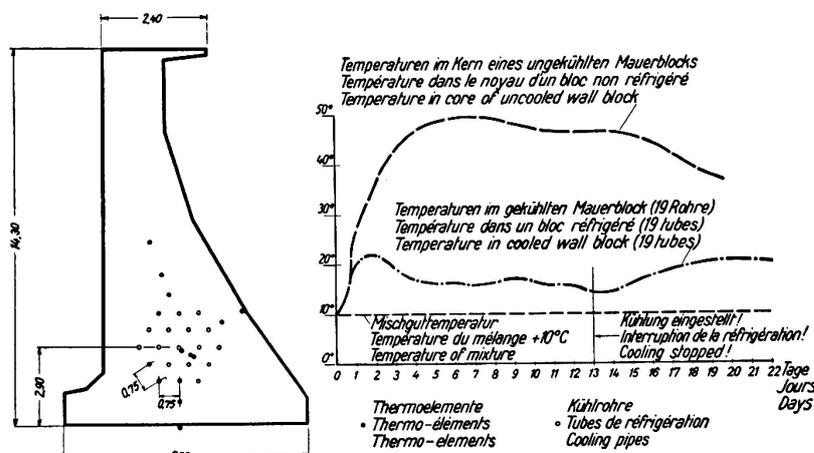


Fig. 2.

Essai de réfrigération du béton d'un mur de l'écluse double d'Allerbüttel
(Canal du Mittelland).

dont la distance sera égale à la demi-hauteur des blocs, c'est-à-dire 1,10 m. L'eau de réfrigération à la température de $+6$ à $+10^{\circ}\text{C}$ circulera lentement dans ce système de tubes jusqu'à ce que le bloc en question ait atteint la température annuelle moyenne. Les tubes seront alors remplis de lait de ciment injecté sous pression, comme au Boulderdam. Le barrage de la Hohenwarte, dont la couronne aura un développement d'environ 400 m, dont la hauteur maxima sera de 75 m et dont le volume sera de $450\,000\text{ m}^3$, nécessitera environ 200 000 mètres de tubes de réfrigération sans compter les conduites d'amenée et de sortie. Les frais supplémentaires occasionnés par la réfrigération se montent à environ 3,5 % du coût total de l'installation (sans l'usine) et à environ 6 % du coût du barrage lui-même.

En plus de la réfrigération des blocs de béton, on a encore prévu pour l'été, une réfrigération du mélange dans l'usine à béton.

Au contraire de ce qu'on a fait au Boulderdam, la réfrigération commencera, à la Hohenwarte, non pas quelques semaines après l'achèvement d'un bloc, mais immédiatement après le bétonnage, afin de couper d'emblée la pointe de la courbe calorifique. Les objections quant à l'absorption de la chaleur de prise sont injustifiées car il s'agit ici de l'évacuation de chaleur libérée par la réaction

chimique. Le ralentissement du durcissement du béton, causé par l'abaissement général de la température dû à la réfrigération ne peut être qu'un avantage.

Des essais effectués sur de gros blocs au Laboratoire de Magdebourg-Glindenberg, et, en pratique, à l'écluse double d'Allerbüttel déjà citée, ont prouvé que le procédé prévu de réfrigération du béton ne présentait aucun inconvénient. Lors de la construction de ce dernier ouvrage, on a muni quelques blocs de tubes de réfrigération disposés de différentes façons. La fig. 2 montre l'une de ces dispositions et permet de voir aussi les dimensions du mur. Lors de cet essai dont nous venons de parler, la température de l'eau de réfrigération était de ± 7 à $+9^{\circ}$ C. Lors d'autres essais, cette température était plus élevée parce que l'eau prise au canal voisin pendant la saison chaude n'était pas spécialement refroidie. Les diagrammes des températures dans ce bloc ainsi que dans d'autres blocs non réfrigérés et ceux des températures du sol ont été pris au moyen de thermomètres électriques à enregistrement automatique. Les courbes de température représentées sur cette figure laissent voir que la réfrigération a pour effet une forte absorption de la chaleur de prise. Les ordonnées de la courbe sont réduites des $\frac{2}{3}$. A d'autres blocs de l'écluse d'Allerbüttel où l'on avait fait varier le nombre, l'intervalle et le diamètre des tubes, le résultat correspondait à ces changements. Aucun des blocs réfrigérés ne présenta de fissures quoique les tubes étaient disposés dans le noyau seulement.

Les essais effectués à l'écluse d'Allerbüttel montrent également qu'il est possible d'appliquer le procédé de réfrigération du béton à de petits ouvrages avec des moyens relativement simples. On évite ainsi la formation de fissures pouvant menacer la solidité de l'ouvrage. Les frais supplémentaires minimes ne sont pas en rapport avec les grands avantages qu'offre la réfrigération.