

L'échauffement dans les barrages en béton

Autor(en): **Davey, N.**

Objektyp: **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-3099>

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 4

L'échauffement dans les barrages en béton.

Temperaturerhöhung in Betonstaumauern.

Temperature Rise in Concrete Dams.

N. Davey,

Ph. D., B. Sc., Assoc. M. Inst. C. E., Garston.

Dans les grandes masses de béton telles que celles des barrages, la diffusion de la chaleur des parties centrales se fait très lentement et le béton sèche dans des conditions pour ainsi dire adiabatiques; il peut par suite atteindre des températures très élevées. L'échauffement effectif dépend de la nature du ciment employé, ainsi que l'indiquent les chiffres du tableau 1, des proportions des mélanges, des dimensions de la masse de béton considérée, de la rapidité de la mise en oeuvre, de l'isolement constitué par le coffrage et des conditions extérieures.

Tableau 1.

Chaleur dégagée par différents types de ciments.

Nature du ciment	Nombre d'essais	Chaleur dégagée en kg-cal par g au bout de		
		1 jour	2 jours	3 jours
Ciment Portland normal	13	23—42	42—65	47—75
Ciment Portland à prise rapide	13	35—71	45—89	51—94
Ciment Portland de haut-fourneau	6	18—28	30—51	33—67
Ciment à haute teneur en alumine	3	77—93	78—94	78—95

La Building Research Station a étudié d'une manière approfondie l'influence du régime thermique sur la résistance effective et les autres caractéristiques du béton.

On a constaté que la résistance mécanique se développe plus rapidement au centre d'une masse de béton, où la température est plus élevée, que sur les bords. Dans une masse de béton mesurant 3 ft. × 4 ft. × 2 ft. 6 in. et dont le béton était constitué par une partie de ciment Portland à prise rapide, 2 parties de sable de rivière et 4 parties de gravier, avec un rapport eau-ciment de 0,6 en poids, la résistance mécanique du béton, au centre, après 3 jours, était de plus de 50 % supérieure à la résistance aux angles où la perte de chaleur à travers le coffrage était plus grande.

Etant donné que le retrait et la déformation plastique varient avec la résistance, il est logique de supposer que ces caractéristiques varient également à travers

la masse du béton. De plus, un béton en grande masse durcit à un moment où l'élévation de la température par suite du dégagement de chaleur est considérable; en conséquence, le retour du béton à la température normale qui peut demander dans certains cas de nombreux mois ou même des années, doit nécessairement être accompagné d'une contraction d'origine thermique qui s'ajoute aux effets du retrait.

Il serait tout particulièrement à désirer que ces influences thermiques dans les masses de béton pussent être réduites au minimum par l'emploi de ciment sélectionné et par l'étude minutieuse des mélanges de béton; il serait également intéressant de pouvoir prévoir par des résultats d'essais de laboratoire effectués sur le ciment, les températures qui peuvent être atteintes par les masses de béton préparées avec ce ciment. L'étude du problème par la Building Research Station¹ a donc été étendue, en vue d'obtenir des indications sur les températures atteintes dans les masses de béton constituant trois grands barrages et de comparer ces résultats avec les courbes temps-température obtenues au cours d'essais de laboratoire sur les ciments utilisés dans ces ouvrages. Il est évidemment nécessaire de prévoir des essais plus complets pour pouvoir établir une corrélation exacte; néanmoins, on dispose dès maintenant de certaines relations qui peuvent être utilisées pour essayer de prévoir les températures qui seront atteintes dans de grandes masses de béton édifiées avec un ciment donné.

Les observations effectuées peuvent être classées en deux séries: une série d'observations sur les massifs de béton des barrages de Tongland et de Clatteringshaws des Galloway Water Power Works et une autre série d'observations sur les massifs de béton du barrage de Laggan des Lochaber Water Power Works.

Le barrage de Tongland, sur la rivière Dee près de Kirkcudbright, a une longueur d'environ 850 ft.; c'est un barrage arqué en béton armé agissant en barrage-poids. Le barrage de Clatteringshaws est du type barrage-poids; il a une longueur totale de 1450 ft., à travers le Blackwater de Dee. Le barrage de Laggan, près de Fort William, a une longueur d'environ 750 ft. et une hauteur de 138 ft.; c'est un barrage-poids. Dans les barrages de Tongland et de Clatteringshaws, le béton a été mis en oeuvre par couches de 4 ft. 6 in. à 6 ft. 0 in. de profondeur; dans le barrage de Laggan, on a opéré par couches d'une profondeur de 3 ft. 3 in. à 3 ft. 9 in.

On a pu observer l'échauffement dans les masses de béton mis en oeuvre dans les barrages de Tongland et de Clatteringshaws, en insérant un thermomètre à maximum dans un tube noyé dans la masse. Chaque « masse » était constituée par une couche coulée en une seule opération, sur une profondeur variant de 4 ft. 6 in. à 6 ft. 0 in. On a utilisé pour toutes ces couches un béton de catégorie « 0 » (3 cwt. de ciment, 12 cu. ft. de sable de Gatehouse et 20 cu. ft. d'agrégats en porphyrite). Toutefois, pour le barrage de Clatteringshaws, on a ajouté à ce mélange 12 % de gros blocs. Des échantillons de ciment et d'agrégats ont été remis à la Building Research Station; on a mesuré l'élévation de température sur des échantillons de béton complètement isolés, préparés avec le même mélange que les couches effectives.

¹ N. Davey: "Correlation between Laboratory Tests and Observed Temperatures in Large Dams", Building Research Paper n° 18, 1935.

Sur le barrage de Laggan, on a mesuré les températures dans la partie centrale à l'aide d'une série de thermomètres Cambridge à résistance. Le béton était mis en oeuvre par couches d'environ 3 ft. 6 in.; le mélange contenait 370 lb. de ciment au yard cube. La quantité d'eau ajoutée à chaque couche était essentiellement variable et dépendait de la teneur en humidité du sable et des agrégats, de manière à donner des mélanges de consistance moyenne. Les gros blocs en granit représentaient environ 5 % de la masse totale de béton mise en oeuvre. Les coffrages étaient en planches de 5 cm d'épaisseur, assemblées à rainures, avec les moises nécessaires. Les couches de béton fraîchement déposées étaient recouvertes de nattes en fibres de coco épaisses, immédiatement après la coulée. Ces nattes étaient laissées en place jusqu'à la mise en oeuvre d'une nouvelle couche.

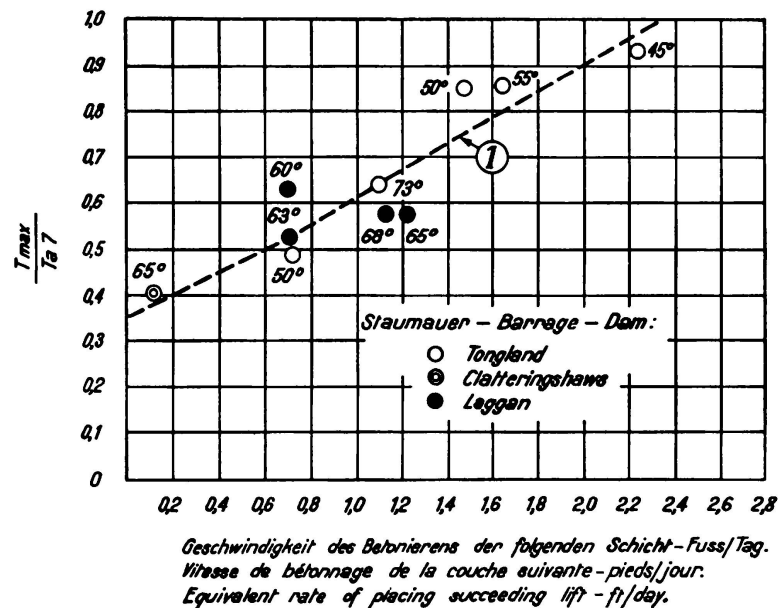


Fig. 1.

Elévation de température dans la masse du béton.

(Les températures de mises en oeuvre sont indiquées en degrés Fahrenheit.)

L'examen des élévations de température à l'intérieur des couches de béton a montré que dans la majorité des cas et en particulier dans les essais de Laggan, deux pointes de température se sont manifestées. La première élévation de température est très rapide; dans la pratique, elle peut dépasser en rapidité l'échauffement constaté sur des échantillons de béton semblable mis en oeuvre à la même température est séchés en laboratoire dans des conditions adiabatiques. Ceci est dû au fait que la couche précédemment mise en oeuvre transmet une certaine quantité de chaleur. Cette première élévation de température est suivie par une chute moins rapide, arrêtée elle-même d'ailleurs par la chaleur apportée par la couche supérieure au moment de sa mise en oeuvre, ce qui donne lieu à une seconde pointe d'échauffement.

En conclusion générale, on peut indiquer que pour une exécution en couches d'égale épaisseur, sur mélanges de mêmes compositions, la valeur de la première pointe de température T_{max} dans une couche quelconque dépend de l'âge de la

couche précédente et la valeur de la seconde pointe de température T'_{\max} dépend de l'intervalle de temps qui s'écoule avant la mise en oeuvre de la couche suivante.

La figure 1 traduit la relation entre T_{\max}/T_{a7} et le rapport équivalent de la couche précédente, T_{a7} représentant ici l'élévation de température dans un échantillon complètement isolé après 7 jours. La figure 2 traduit la relation entre le rapport

$$\frac{T'_{\max} - T_{\max}}{T_{\max}}$$

et le rapport de la couche suivante. Par suite, si l'on connaît la valeur de T_{a7} , il est possible de déterminer avec une bonne exactitude l'élévation probable de température dans une masse de béton de même épaisseur, mise en oeuvre dans des conditions identiques de température.

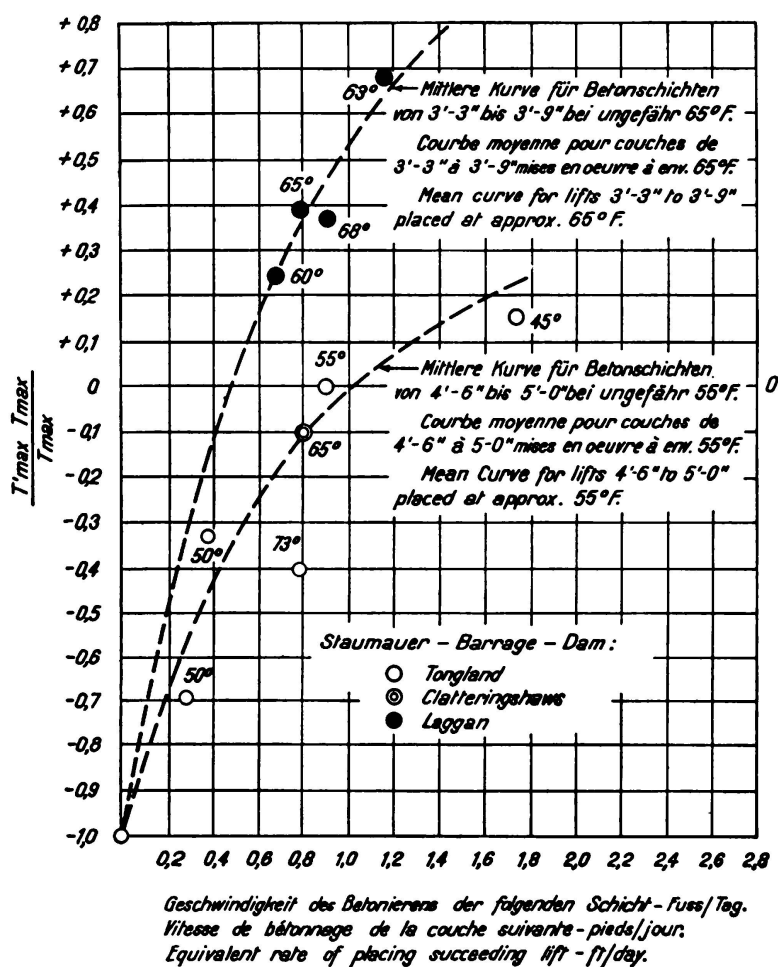


Fig. 2.

Élévation de température dans la masse du béton.

(Les températures de mises en oeuvre sont indiquées en degrés Fahrenheit.)

L'existence de températures élevées au coeur de la masse de béton d'un barrage, avec des températures notablement plus basses à la surface, doit avoir pour résultat la mise en jeu de contraintes élevées au voisinage de cette surface. Il est donc très important que l'on puisse se faire une idée du maximum d'élévation de

température que l'on peut admettre sans fissurations dues à l'échauffement. Les observations faites sur le barrage de Laggan ont été fort utiles à ce sujet. On a enregistré le temps au bout duquel se manifeste l'écart maximum de température entre le béton du coeur du barrage et celui de la surface. Ce temps correspond avec celui au bout duquel le béton du coeur atteint son second maximum de température (T'_{\max}). Dans le cas du bloc IV au sud du barrage, ce temps a été de 4 à 5 semaines après la mise en oeuvre du béton dans le coeur de ce bloc.

Il est intéressant d'examiner les températures enregistrées aux points N° 5, 4 et 3 (à 3 ft., 23 ft. et 43 ft. de la face amont du barrage) au cours des dix jours suivant le 27 juillet 1933. On constate ainsi combien le gradient de température varie rapidement près de la surface du barrage.

Dates	Températures :			
	Dans le béton aux points.			Dans l'air
	3	4	5	
27. 7. 33	109° F	106,5° F	108° F	62° F
29. 7. 33	109	107	97	54
31. 7. 33	108,5	107	90	60
2. 8. 33	108	107	88	54
4. 8. 33	108,5	108	84	55
6. 8. 33	108,5	108	83	55

La figure 3 représente le gradient observé le 6 août 1933, en degrés Fahrenheit. On constate que l'écart de température entre la surface du béton et un point situé à environ 10 ft. de cette surface dans la masse du béton est d'environ 50° F. La différence de température entre le coeur du béton et l'air à la surface extérieure est de l'ordre de 55° F. Cet écart est dans son ensemble dû non pas entièrement à l'élévation de température provoquée dans le béton par la chaleur d'hydratation (approximativement 45° F), mais aussi à une diminution de la température moyenne de l'air de 10° F. Des fissures visibles se sont manifestées dans le béton à la fin du mois, mais, après 20 mois, elles n'avaient pas pénétré jusqu'à la galerie de visite, située à une distance de 8 à 11 ft. de la face amont du barrage. Ces fissures sont donc limitées à la surface et semblent ainsi nettement dues à la mise en jeu d'écart marqué de température dans cette région.

Si l'on admet pour le béton un module effectif d'élasticité de $1 \cdot 10^6$ lb./sq. in., pour une résistance moyenne à la compression d'environ 2800 lb./sq. in. à 28 jours, avec un coefficient de dilatation de $6 \cdot 10^{-6}$ par ° F, la contrainte mise en jeu par l'écart de température seul dépassera probablement 300 lb./sq. in. Cette valeur est excessive et doit provoquer des fissurations. Si l'on veut réduire ce risque de fissuration à des limites raisonnables, il faut faire en sorte que la contrainte mise en jeu dans le béton (par suite de la température) ne dépasse pas un maximum de 150 lb./sq. in. Cette condition implique à son tour que la différence de température entre le centre et la surface de la masse de béton ne dépasse pas environ 25° F. Pour arriver à ce résultat, l'allure de mise en oeuvre d'un béton semblable à celui qui a été employé pour le barrage de Laggan

et mis en oeuvre à la même température, avec un ciment fournissant 65 calories par gramme à 7 jours, devrait être réduite à environ 0,5 ft. par jour, c'est-à-dire que des couches de 3 ft. 6 in. devraient être mises en oeuvre à des intervalles de temps non inférieurs à 7 jours. Ceci suppose en outre que la température moyenne de l'air ne varie pas d'une manière appréciable depuis le moment de la

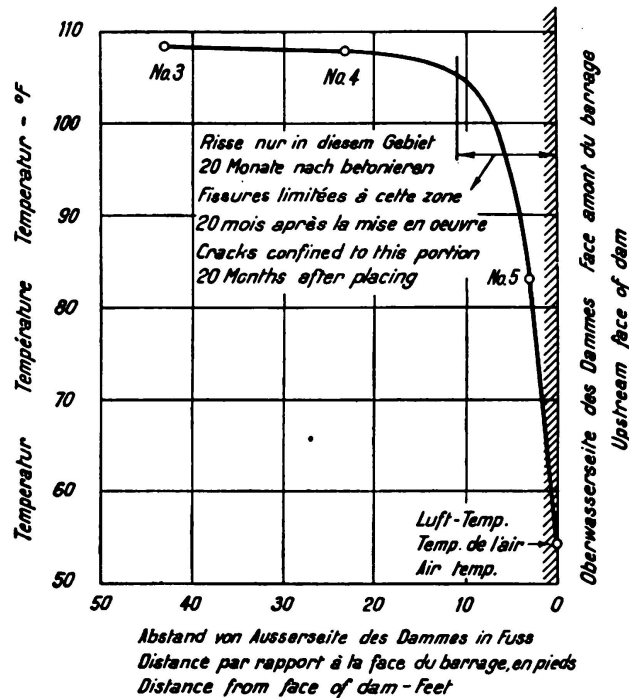


Fig. 3.

Gradient de température dans le barrage de Laggan, 6 août 1933.

mise en oeuvre du béton jusqu'au moment où se manifeste l'écart maximum de température. Des variations saisonnières de la température ont pour effet d'augmenter ou de réduire le gradient de température dans le barrage. Lorsque la température de l'air ambiant s'élève, l'écart de température tend à être moins accentué et une chute progressive de la température de l'air provoque un effet inverse. En employant un ciment ne dégageant que 55 calories par grammes à 7 jours, l'allure de mise en oeuvre pourrait être augmentée d'environ 20 %, sans qu'il en résulte une augmentation des risques de fissuration.

Il est certain que cette étude n'épuise pas la question; il est nécessaire qu'elle soit étendue à des conditions de mise en oeuvre différentes de celles qui ont été adoptées aux barrages de Laggan et de Galloway.