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

Band: 5 (1956)

Artikel: Essais de fluage rapide de bétons

Autor: Peltier, R.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-5971

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: 17.07.2025

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

Ia7

Essais de fluage rapide de bétons

Experiments on accelerated concrete creep

Rasche Kriechversuche mit Beton

Ensaios de fluência rápida do betão

R. PELTIER

Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées, Directeur de Recherches et d'Essais au Laboratoire Central des Ponts et Chaussées,
Paris

Introduction.

Le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées a effectué depuis la guerre, plusieurs essais de fluage sur des éprouvettes de béton. On citera notamment les essais des bétons du pont de VIENNE, sur le le Rhône, qui ont duré six ans, et ont porté sur 24 éprouvettes prismatiques, soumises à des pressions permanentes de 0 - 20 - 45 - 60 et 80 kg/cmq. (On trouvera le compte-rendu de ces essais dans l'ouvrage de M. DURIEZ: «Traité de matériaux de construction», tome I, pages 492 à 498). Ces divers essais, qui ont été effectués avec des charges voisines des charges pratiques dans les ouvrages réels, ont permis de mettre en évidence le phénomène du fluage du béton, et de donner la forme générale des courbes de fluage en fonction du temps.

Ces courbes, comme l'a déjà indiqué M. CAQUOT, ont la même forme que celles obtenues dans la théorie de la consolidation des sols de M. TERZAGHI.

Toutefois, à ces charges relativement faibles, le fluage est toujours assez petit, donc difficile à mesurer avec précision, d'autant plus qu'il se superpose au phénomène du retrait qui donne des déformations du même ordre. Il est alors délicat de distinguer dans la déformation totale, la part qui est due au retrait, et celle qui est due fluage, d'autant plus que ces deux phénomènes ne sont probablement pas indépendants.

D'autre part, pendant ces longues durées d'essai, le béton continue son durcissement, suivant son évolution naturelle; sa structure interne

se modifie donc, et ce n'est en somme plus le même béton qui est essayé, au début et à la fin de l'essai.

Bien entendu, dans les ouvrages réels, cet enchevêtrement des effets du fluage, du retrait et du durcissement, se produit bien ainsi. Il nous a paru toutefois utile, au moins théoriquement, d'essayer d'isoler le phénomène du fluage, en utilisant de fortes charges de compression. On extrapole ainsi ce qui se passe dans les ouvrages réels; le fluage est alors fortement amplifié et accéléré; et les autres phénomènes deviennent secondaires. Dans ce qui suit, nous appelons «fluage rapide» le fluage ainsi réalisé, pour le distinguer de celui qui se produit aux charges normales dans les ouvrages réels.

Ces essais présentent l'intérêt de pouvoir se réaliser aisément. La plupart des laboratoires modernes possèdent en effet des presses de 500 tonnes très précises, qui possèdent des dispositifs automatiques de maintien d'une charge constante. Toutefois, pour ne pas immobiliser trop longtemps ces presses, nous avons toujours limité l'étude du fluage à quelques jours au maximum. Souvent les éprouvettes n'ont été soumises à cet essai que du vendredi soir au lundi matin, soit pendant la période de fermeture hebdomadaire du Laboratoire. Ces recherches ont alors pu être aisément insérées dans le programe de travail du Laboratoire.

Mais il en résulte que nous n'avons ainsi exploré qu'une partie limitée du vaste domaine d'action du fluage: celle qui correspond au début du fluage rapide.

Nous avons pu toutefois en déduire des conclusions intéressantes, qui sont exposées ci-après. Notament, nous avons étudié les variations en fonction de la charge, de la vitesse initiale du fluage rapide; il semble que l'on puisse en déduire une définition assez précise de la limite de fluage des bétons. Nous avons pu également vérifier que l'essai de fluage rapide, lorsqu'il ne provoquait pas la rupture de l'éprouvette, améliorait la résistance du béton, à l'essai normal de compression.

Par contre, nous avons souvent observé des ruptures des éprouvettes de béton, pendant l'essai de fluage rapide. Ces ruptures ont été assez systématiques, pour permettre de penser que la résistance du béton à une compression à charge constante était bien plus faible que la résistance à la compression dans l'essai normal. Il y a là un fait assez troublant, et qui nécessiterait de plus amples essais pour être élucidé complètement. Il conduirait à penser que le coefficient de sécurité des ouvrages soumis à des charges constantes est bien moins élevé que ce que l'on croit habituellement.

Processus Operatoire.

Les essais ont été effectués avec deux sortes de bétons à granulométrie semi-discontinue, de types souvent utilisés sur les chantiers d'ouvrage d'art. Le béton du premier type est un béton sec pour emploi en masses assez importantes, avec moyens de mise en oeuvre puissants ($\frac{C}{E}=2{,}70$). L'autre est un béton humilde d'un emploi courant en béton armé ($\frac{C}{E}=2{,}10$).

La composition granulométrique de ces bétons est la suivante:

Béton n° 1

Ciment	370 kg.
Sable de Seine 0/6 mm.	630 kg.
Gravillon de Seine 10/25 mm.	1.250 kg.
Eau	140 litres.

Béton n° 2

Ciment	355 kg.
Sable de seine 0/4 mm.	580 kg.
Gravillon de Seine 10/20 mm.	1.250 kg.
Eau	170 litres.

Le ciment était du ciment Portland C. P. B. 250/315 Lafarge. Les éprouvettes étaient cylindriques, du type: hauteur double du diamètre. Deux sortes d'éprouvettes ont été utilisées:

— le type A de 250 cmq de section et de 40 cm. de hauteur;
— le type B de 200 cmq de section et de 32 cm. de hauteur.

On n'a d'ailleurs pas noté de différences sensibles entre ces deux types d'éprouvettes, dans les résultats d'essais.

Les bétons ont été exécutés avec les meilleurs appareils de malaxage et de vibration du laboratoire, en apportant le plus grand soin à leur exécution. Ils ont été conservés dans une salle climatisée, à température constante (20° ± 1), et à hygrométrie constante (salle de brouillard à humidité maximum). Les éprovettes étaient démoulées après 24 heures.

Les bétons ont été essayés à l'âge de trois mois; ils avaient été confectionnés en plusieurs séries différentes.

Les essais avaient lieu dans la salle des presses du Laboratoire. On avait primitivement envisagé de placer les éprouvettes dans une enceinte isolante, pour les mettre à l'abri des variations de température et d'hygrométrie. Toutefois, des thermomètres et des hygromètres enregistreurs placés dans la salle au voisinage de la presse d'essai ayant montré que les variations d'hygrométrie et de température de cette salle étaient très faibles pendant la durée des essais, cette enceinte a été supprimée. Mais bien entendu, pendant chaque essai, ces thermomètres et ces hygromètres étaient installés auprès de la presse de façon, le cas échéant, à éliminer les essais pour lesquels des variations sensibles d'hygrométrie et de température auraient été observées.

La presse utilisée était une presse Losenhausenwerk de 500 tonnes, du type le plus moderne, puisqu'installée au Laboratoire des Ponts et Chaussées depuis juillet 1954. Elle était munie d'un dispositif de maintien de charges constantes, d'une régularité remarquable.

Les faces planes des éprouvettes étaient surfacées avec la plus grande régularité possible au lapidaire, puis enduites d'une très mince couche de paraffine, afin d'améliorer la régularité du contact de l'éprovette avec les plateaux de la presse. Ces derniers étaient d'autre part enduits

très légèrement à l'huile de vaseline, pour diminuer les frottements de contact.

On a craint, un moment, que les ruptures constatées pendant les essais de fluage rapide aient été dues à la pénétration de la paraffine ou de la vaseline, dans les alvéoles et les fines fissures naturelles du béton, d'où des efforts de traction dans le béton près des bases. On observe d'ailleurs au début de la mise en compression une expulsion de la paraffine qui est laminée entre l'éprouvette et les plateaux de la presse. Toutefois, cette expulsion n'est observée qu'au début de la mise en charge, qui a d'alleurs été prévue très lente à cet effet. D'autre part, les ruptures n'ont généralement lieu que plusieurs heures après le début de l'essai, soit à un moment où tout le fluage liquide de la paraffine est depuis longtemps terminé. Enfin, les ruptures qui ont pu être observées au moment même de la rupture (il n'y avait, en effet, pas d'observateur en permanence auprès de l'éprouvette) ont montré que les fissures de rupture s'amorçaient plutôt dans la zône centrale des éprouvettes. Toutefois, pour élucider complètement ce point, et éliminer tout équivoque, de nouveaux essais sont entrepris, en supprimant la paraffine et la vaseline.

Les variations de longueur des éprouvettes étaient mesurées à l'aide d'extensomètres électriques, du type dit «à variation de self». Ces extensomètres, fabriqués par la Société Philipps, sont suffisamment connus pour ne pas nécessiter une description complète ici. Ces extensomètres avaient une base de mesure de 20 cm. et les mesures s'effectuaient avec la précision du demi-micron environ. Sur chaque éprouvette, on a placé trois extensomètres de ce type; ils étaient fixés verticalement sur des génératrices, disposées à 120° les unes des autres; ils étaient placés dans la zône centrale de ces génératrices.

La valeur des déformations était lue sur les cadrans de ponts de mesure des extensomètres, par un opérateur qui passait à des périodes fixées à l'avance. On a préféré cette méthode de lectures à celle d'un enregistrement graphique, cette dernière étant beaucoup moins précise que la première.

Resultats des Essais.

1) *Vitesse de fluage.*

La déformation est donnée par la moyenne des indications des trois extensomètres. On n'a retenu que les essais pour lesquels ces trois extensomètres ne donnaient pas des indications trop divergentes, qui auraient été l'indice, soit d'une hétérogénéïté notable du béton, soit d'un défaut de centrage de la charge, entraînant une flexion de l'éprouvette.

Toutes les courbes de déformation ont à peu près la même forme:

— Tout d'abord une déformation instantanée, correspondant à la déformation élastique de l'éprouvette, et représentée par une droite verticale sur le diagramme : déformation temps.
— Puis une petite courbe de raccordement, qui dure à peu près une demi-heure.
— Enfin un fluage à vitesse constante, qui est représenté sur le diagramme précité par une droite inclinée.

Les courbes de raccordement ont souvent été très différentes d'un extensomètre à une autre. Aussi doit-on penser qu'il y entre, pour une grande part, des phénomènes d'adaptations locales. Cette période d'adaptation est généralment courte (moins d'une demi-heure) ; de plus, la déformation à laquelle elle correspond est faible, par rapport à la déformation élastique d'une part, et à la déformation par fluage d'autre part. Aussi n'avons-nous finalement retenu dans nos mesures que la déformation par fluage.

Dans le tableau 1 ci-joint, on a indiqué les résultats des observations, en ce qui concerne la vitesse de fluage, c'est-à-dire la pente de la droite inclinée du diagramme précité. Ces vitesses sont exprimées en microns par mètre et par heure.

Elles donnent alors la tangente au départ de la courbe de fluage; mais elles ne permettent pas de connaître les valeurs du fluage total.

On constate que ces vitesses de fluage sont assez dispersées; aussi dispersées que la résistance à la compression des bétons par exemple.

Malgré cette forte dispersion, il semble qu'il existe une loi approximative reliant la charge et la vitesse du fluage. Cette relation semble être de la forme:

$$P - P_0 = K.V^2$$

où : P est la charge et : V la vitesse, et P_0 et K deux constantes. Avec les deux types de béton ci-dessus, oon aurait :

— pour le béton n° 1 : $P_0 = 80$, $K = 34$;
— pour le béton n° 2 : $P_0 = 100$, $K = 7$.

Bien que cette loi ne paraisse être qu'approximative et assez dispersée, elle permet de calculer avec une certaine précision la valeur de : P_0, qui n'est autre que la *limite de fluage des bétons.*

Ces essais de fluage rapide donneraient donc ainsi la possibilité de définir et de mesurer la limite de fluage des bétons.

2) *Résistances normales à la compression.*

Une série d'éprouvettes témoins ont été essayées à la compression, suivant le processus normalisé de cet essai. Bien, entendu, ces essais étaient effectués au même âge que pour les essais de fluage rapide, soit trois mois.

Les résultats de ces essais sont les suivants :

	Résistance moyenne en kg/cmq	ECART MOYEN en kg/cmq	en %
Béton n° 1	360	32	8,9
Béton n° 2	292	21	7,2

D'autre part, nous avons soumis aux essais de compression simple les éprouvettes de béton qui avaient servi aux essais de fluage rapide, et qui n'avaient pas été rompues ou cours de cet essai. On constate alors des augmentations sensibles de la résistance à la compression, suivant l'essai normal. Les résultats sont donnés dans le tableau n° 2 ci-joint.

La moyenne des résistances ainsi obtenues est de : 390 kg./cmq pour le béton n° 1, et de 324 kg./cmq pour le béton n° 2, soit des augmentations respectives de résistance de 8,3 % et: 10,9 % Il y a donc une nette augmentation de résistance. On constate en outre que cette augmentation de résistance croît avec la charge appliquée pendant l'essai de fluage rapide; mais le nombre d'essais est trop faible, et les résultats trop dispersés pour que l'on puisse même ébaucher une loi à ce sujet.

3) *Ruptures par fluage rapide.*

Un certain nombre d'éprouvettes se sont rompues au cours de l'essai par fluage rapide. Les temps de rupture ont varié de plusieurs minutes à plusieurs heures; sans que l'ont ait d'ailleurs de mesures précises à ce sujet, puisqu'un observateur n'était pas toujours en permanence auprès de la presse pendant l'essai.

Les résultats obtenus à ce sujet sont donnés dans les tableaux ci-après:

Béton n° 1 (dont la résistance moyenne à la rupture par compression simple, dans l'essai normalisé, est de 360 kg/cmq).

Charge d'essai	Nombre d'essais	Nombre de ruptures par fluage rapide
175	3	0
200	3	2
225	3	2
250	3	2

Béton n° 2 (dont la résistance moyenne à la rupture par compression simple, dans l'essai normalisé, est de 292 kg/cmq).

Charge d'essai	Nombre d'essais	Nombre de ruptures par fluage rapide
175	3	0
200	3	3

On peut, semble-t'-il, déduire de ces résultats qu'il existe une résistance à la compression sous charge permanente, nettement différente de la résistance à la compression simple donnée par l'essai normal classique. La première ne peut être connue qu'à la suite d'un grand nombre d'essais,

et en analysant ces derniers par des méthodes statistiques; on pourra par exemple définir cette résistance moyenne à la rupture sous charge constante, comme la charge constante qui correspond à 50 % de probabilité de rupture.

Cette résistance moyenne R' serait alors de: 212,5 kg/cmq pour le le premier béton, et de : 187,5 kg/cmq pour le béton n° 2.

Rapportées aux résistances moyennes à la rupture par compression simple R, ces valeurs deviennent:

— pour le béton n° 1: $\frac{R'}{R} = \frac{212,5}{360} = 0,59$;

— pour le béton n° 2: $\frac{R'}{R} = \frac{187,5}{292} = 0,64$;

R' n'est donc qu'une fraction assez réduite de la résistance R. C'est là un fait assez inquiétant pour les ouvrages soumis à des charges permanentes élevées. Il est probable que pour ces ouvrages le coefficient de sécurité est bien moins élevé que celui donné par les calculs classiques, basés uniquement sur la résistance à la compression simple. Ceci peut avoir des applications pratiques dans les cas des ouvrages en béton précontraint à forte précontrainte, ou dans le cas des ponts en arcs très surbaissés.

TABLEAU N° 1

Vitesse V de fluage des bétons

Type de béton	Type d'éprouvette	Charge	Durée de l'essai	V
1	A	100	62	0,83
1	A	175	53	1,60
1	A	175	119	1,42
1	B	175	66	1,70
1	B	200	48	1,95
1	B	225	44	2,10
2	A	100	69	0,70
2	A	100	91	1,50
2	A	140	69	1,84
2	A	175	63	3,46

Les charges sont exprimées en kg. par centimètre carré.
Les durées sont exprimées en heures.
Les vitesses initiales : V de fluage sont exprimées en microns par mètre et par heure.

TABLEAU N° 2

Essais normaux à la compression après essai de fluage rapide

Type du béton	Type d'éprouvette	Charge dans l'essai de fluage rapide	Résistance à la compression simple
1	A	150	370
1	A	175	403
1	A	175	364
1	B	175	390
1	B	200	356
1	B	225	460
2	A	100	300
2	A	100	305
2	A	140	316
2	A	175	293

RÉSUMÉ

L'auteur rapporte les résultats d'essais effectués sur de puissantes presses modernes au Laboratoire Central des Ponts et Chaussées à PARIS. Ces essais ont consisté à exercer sur des cylindres de béton, des charges permanentes pendant des durées assez réduites (une semaine au maximum) ; ces charges étaient toujours relativement élevées puisque toujours supérieures à la moitié de la charge de rupture.

On explorait ainsi un domaine assez différent de celui étudié jusqu'ici par la plupart des chercheurs, et de celui où travaille réellement le béton dans les ouvrages. Il s'agissait donc d'une sorte d'extrapolation.

Le fluage a été mesuré à l'aide de capteurs électroniques très précis.

En effectuant ces essais, on a observé un phénomène nouveau. C'est la rupture par fluage des éprouvettes de béton, pour une charge permanente qui n'est que les deux tiers environ de la charge de rupture par compression dans l'essai statique. Ce phénomène est très important pour les ouvrages à forte charge permanente (ponts très surbaissés, barrages voûtes, ouvrages en béton précontraint). Aussi, fait-il l'objet de nouvelles recherches systématiques.

SUMMARY

The author reports results of experiments carried out with modern high power presses at the central Laboratory of «Ponts et Chaussées» in Paris. Concrete cylinders were submitted to permanent loading for

short periods of time (one week maximum); the loads were relatively high, always greater than half their collapse value.

The zone thus explored is quite different from that normally investigated by the majority of research workers and from the actual structural working conditions of concrete. These experiments were therefore an extrapolation.

Creep was measured with high precision electronic detectors.

While carrying out the experiments a new phenomenon was observed. This was the creep-caused collapse of the concrete cylinders under permanent loads approximately equal to a mere two thirds of the compression test collapse-load. This phenomenon is of great importance in structures subject to high permanent loads (flat arch bridges, arch dams, prestressed concrete structures) and is therefore being systematically investigated.

ZUSAMMENFASSUNG

Der Verfasser berichtet über die Ergebnisse der im Hauptlaboratorium der Ponts et Chaussées in Paris mit grossen, modernen Pressen durchgeführten Versuche. Diese bestanden im Aufbringen einer Dauerlast auf Betonzylinder während beschränkter Zeit (im Maximum einer Woche), wobei diese Lasten immer verhältnismässig hoch, nämlich höher als die halbe Bruchlast gewählt wurden.

Die Untersuchung erstreckte sich damit auf einen Bereich wesentlich ausserhalb des bisher von der Mehrzahl der Forscher untersuchten, sowie des wirklichen Arbeitsbereichs des Betons in den Bauwerken. Eigentlich handelte es sich um eine Art Extrapolation.

Die Messung der Kriechwerte erfolgte mit Hilfe sehr genauer, elektronischer Geräte.

Bei der Durchführung der Versuche beobachtete man eine neue Erscheinung, einen Bruch der Betonprüfkörper durch das Kriechen bei einer Dauerlast von ungefähr zwei Dritteln der Bruchlast im statischen Druckversuch. Diese Erscheinung ist sehr wichtig für dauernd stark belastete Bauwerke wie sehr flache Bogenbrücken, Bogenstaumauern, vorgespannte Bauwerke. Sie wird auch Gegenstand weiterer systematischer Untersuchungen sein.

RESUMO

O autor relata resultados de ensaios efectuados com prensas modernas de grande potência no Laboratório Central de «Ponts et Chaussées» em Paris. Nestes ensaios, exerceram-se sobre cilindros de betão cargas permanentes durante períodos bastante curtos (uma semana ao máximo); as cargas eram relativamente elevadas pois foram sempre superiores a metade da carga de rotura.

Investigou-se assim um domínio bastante diferente daquele até aqui estudado pela maioria dos pesquisadores e daquele em que trabalha na realidade o betão em obra. Tratava-se portanto de uma espécie de extrapolação.

Mediu-se a fluência com aparelhos electrónicos de grande precisão.

No decorrer dos ensaios, observou-se um fenómeno novo. Trata-se da rotura por fluência dos cilindros de betão, para uma carga permanente aproximadamente igual a dois terços apenas da carga da rotura por compressão correspondente ao ensaio estático. Este fenómeno é de grande importância nas estruturas submetidas a fortes cargas permanentes (pontes muito rebaixadas, barragens do tipo abóboda, estruturas de betão preesforçado), e por essa razão é objecto de novos ensaios sistemáticos.