

# Déformations élastiques plastiques et de retrait de quelques bétons

Autor(en): **Bolomey, J.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin technique de la Suisse romande**

Band (Jahr): **68 (1942)**

Heft 15

PDF erstellt am: **26.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-51813>

## **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.

# BULLETIN TECHNIQUE

## DE LA SUISSE ROMANDE

Paraissant tous les 15 jours

## ABONNEMENTS :

Suisse : 1 an, 13.50 francs

Etranger : 16 francs

Pour sociétaires :

Suisse : 1 an, 11 francs

Etranger : 13.50 francs

Prix du numéro :

75 centimes.

Pour les abonnements  
s'adresser à la librairie  
F. Rouge & C<sup>ie</sup>, à Lausanne.

Organe de la Société suisse des ingénieurs et des architectes, des Sociétés vaudoise et genevoise des ingénieurs et des architectes, de l'Association des anciens élèves de l'Ecole d'ingénieurs de l'Université de Lausanne et des Groupes romands des anciens élèves de l'Ecole polytechnique fédérale.

COMITÉ DE PATRONAGE. — Président : R. NEESER, ingénieur, à Genève ; Vice-président : M. IMER, à Genève ; secrétaire : J. CALAME, ingénieur, à Genève. Membres : *Fribourg* : MM. L. HERTLING, architecte ; A. ROSSIER †, ingénieur ; *Vaud* : MM. F. CHENAUX, ingénieur ; E. ELSKES, ingénieur ; EPITAUX, architecte ; E. JOST, architecte ; A. PARIS, ingénieur ; CH. THÉVENAZ, architecte ; *Genève* : MM. L. ARCHINARD, ingénieur ; E. ODIER, architecte ; *Neuchâtel* : MM. J. BÉGUIN, architecte ; R. GUYE, ingénieur ; A. MÉAN, ingénieur ; *Valais* : M. J. DUBUIS, ingénieur ; A. DE KALBERMATTEN, architecte.

RÉDACTION : D. BONNARD, ingénieur, Case postale Chauderon 475, LAUSANNE.

Publicité :  
TARIF DES ANNONCES

Le millimètre  
(larg. 47 mm.) 20 cts.  
Tarif spécial pour fractions  
de pages.

Rabais pour annonces  
répétées.



ANNONCES-SUISSES S.A.  
5, Rue Centrale,  
LAUSANNE  
& Succursales.

CONSEIL D'ADMINISTRATION DE LA SOCIÉTÉ ANONYME DU BULLETIN TECHNIQUE  
A. STUCKY, ingénieur, président ; M. BRIDEL ; G. EPITAUX, architecte ; M. IMER.

SOMMAIRE : *Déformations élastiques plastiques et de retrait de quelques bétons*, par J. BOLOMEY, professeur. — *Ecole d'ingénieurs de l'Université de Lausanne : La dernière leçon de M. le professeur G. Dumas ; Doctorat ès sciences techniques ; Diplômes ; Nomination.* — DIVERS : *Assurance-caution pour entrepreneurs et maîtres d'état.* — *Le Canal transhelvétique, illusion et réalité.* — NÉCROLOGIE : *Marius Reymond, ingénieur.* — BIBLIOGRAPHIE. — CARNET DES CONCOURS. — SERVICE DE PLACEMENT. — DOCUMENTATION.

## Déformations élastiques plastiques et de retrait de quelques bétons<sup>1</sup>

par J. BOLOMEY, professeur, chef de la division des matériaux pierreux du Laboratoire d'essai des matériaux de l'Ecole d'ingénieurs de Lausanne.

En été 1939 la sous-commission S. I. A. du béton précontraint a chargé le Laboratoire d'essai des matériaux de Lausanne de déterminer l'influence de la précontrainte, de la durée du durcissement avant l'application de celle-ci, des caractéristiques du béton (consistance, résistance et granulation) sur la grandeur des déformations élastiques, plastiques et de retrait de divers bétons.

La connaissance de ces déformations est désirable, non seulement pour l'étude du béton précontraint, mais aussi pour celle des nombreux ouvrages hyperstatiques, ainsi que pour évaluer avec quelque exactitude les tensions provoquées dans le béton par le retrait et les variations de température.

L'exposé ci-dessous résume les essais effectués ainsi que les résultats obtenus au cours de ceux-ci.

### Programme des essais.

1. Détermination des déformations totales, pendant deux ans, sous précontraintes de 0, 50 et 100 kg/cm<sup>2</sup>, de

prismes de 12.12.36 cm de bétons gradués suivant  $P = 10 + 90 \sqrt{d} : 30$  et  $P = 10 + 90 \sqrt{d} : 6$

$P$  = pour-cent du poids total des matières sèches (ciment + ballast) d'un diamètre plus petit que  $d$  mm.

Ballast roulé de la Dranse, dosage 350 kg de CP spécial par m<sup>3</sup> de béton.

Béton à la consistance molle de chantier, mise en œuvre par secousses et béton à la consistance de terre humide, mise en œuvre par vibrations.

Durcissement dans l'eau jusqu'au jour de la mise sous précontrainte et ensuite à l'air (humidité environ 70 %) jusqu'à la fin des essais.

Mise sous précontrainte aux âges de 3, 7, 14 et 90 jours.

2. Détermination des résistances et des modules d'élasticité de bétons témoins non précontraints à 3, 7, 90 et 760 jours, durcissement dans l'eau ou durcissement mixte dans l'eau puis à l'air.

3. Détermination des résistances et des modules d'élasticité des bétons précontraints à la fin des essais.

### Caractéristiques et résistances des bétons.

Le tableau A donne la granulation et les caractéristiques des bétons utilisés, ainsi que leurs résistances et modules d'élasticité suivant les divers modes et durées de durcissement, pour les précontraintes de 0, 50 et 100 kg/cm<sup>2</sup>.

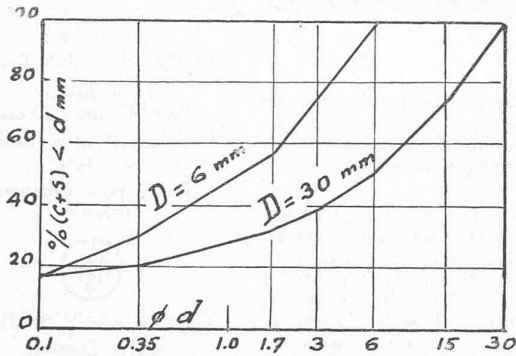
L'examen de ce tableau montre que les résistances et modules d'élasticité ont fortement augmenté avec la durée du durcissement. La précontrainte n'a pas modifié de façon appréciable les résistances à la flexion et à la compression ; par contre elle a provoqué en général une légère augmentation du module d'élasticité.

<sup>1</sup> Rapport sur les essais effectués au Laboratoire de Lausanne sur des prismes de béton, suivant programme établi par la sous-commission du béton précontraint de la Société suisse des ingénieurs et des architectes.

Essais effectués sur des prismes de béton précontraint.

TABLEAU A

Granulation des bétons  $P(s+c) = 10 + 90 m \sqrt{d} : D.$



Dosages des bétons.

	D = 6 mm		D = 30 mm	
	Mou	Vibré	Mou	Vibré
Roche spécial . . . . .	350	350	350	360
Ballast. . . . .	1750	1880	1920	2000
Eau . . . . .	213	170	170	136
Densité béton. . . . .	2.31	2.40	2.42	2.50
Rapport C : E . . . . .	1.64	2.05	2.05	2.67

Résistances et modules d'élasticité des bétons.

Rf = R. flexion    Rc = R. compression    P = Précontrainte en kg/cm<sup>2</sup>    E<sub>50</sub> = Module  $\sigma_{10-50}$  kg/cm<sup>2</sup>  
 E<sub>100</sub> = Module  $\sigma_{10-100}$  kg/cm<sup>2</sup>

Age Jours	Mode de durcissement	Mise sous presse	P	D = 30 mm							
				Béton mou				Béton vibré			
				Rf kg/cm <sup>2</sup>	Rc kg/cm <sup>2</sup>	E en t/cm <sup>2</sup>		Rf kg/cm <sup>2</sup>	Rc kg/cm <sup>2</sup>	E en t/cm <sup>2</sup>	
		E <sub>50</sub>	E <sub>100</sub>			E <sub>50</sub>	E <sub>100</sub>				
3	3 j. eau . . . . .	—	0	56.0	284	310	290	63.1	387	395	375
7	7 » . . . . .	—	0	66.7	384	320	337	78.3	532	428	398
90	90 » . . . . .	—	0	68.0	525	357	353	74.8	608	401	393
90	3 » + 87 j. air . . . . .	—	0	55.5	535	356	347	60.5	649	411	412
90	7 » + 83 » . . . . .	—	0	53.7	542	358	345	57.5	678	415	411
110	14 » + 96 » . . . . .	—	0	53.8	555	382	365	68.8	728	435	420
110	3 » + 107 » . . . . .	3	50	52.9	497	375	372	64.3	622	456	443
110	3 » + 107 » . . . . .	3	100	59.0	517	375	371	63.1	623	439	426
110	7 » + 103 » . . . . .	7	50	54.8	552	406	395	68.0	647	446	435
110	14 » + 96 » . . . . .	14	50	50.3	524	400	379	61.2	666	493	451
760	14 » + 96 » . . . . .	14	100	56.0	524	358	350	—	—	—	—
760	760 » . . . . .	—	0	74.1	575	440	427	86.3	735	513	491
760	3 » + 757 » . . . . .	—	0	71.8	550	380	370	91.2	727	465	454
760	3 » + 757 » . . . . .	3	50	70.2	486	416	408	78.5	587	465	449
760	3 » + 757 » . . . . .	3	100	—	492	391	383	81.2	612	571	511
760	7 » + 753 » . . . . .	—	0	75.8	542	385	385	64.3	615	445	457
760	7 » + 753 » . . . . .	7	50	68.3	489	417	406	82.8	633	539	521
760	7 » + 753 » . . . . .	7	100	66.5	472	408	400	92.7	634	540	550
760	90 » + 670 » . . . . .	—	0	79.3	591	386	378	96.2	786	485	470
760	90 » + 670 » . . . . .	90	50	70.7	533	395	390	97.4	653	510	500
760	90 » + 670 » . . . . .	90	100	83.3	570	452	440	98.0	657	505	510
				D = 6 mm							
7	7 j. eau . . . . .	—	0	48.6	287	216	222	53.5	431	291	272
650	7 » + 643 j. air . . . . .	—	0	76.0	433	295	283	100.9	582	363	346
650	7 » + 643 » . . . . .	7	50	71.0	424	299	287	87.2	556	431	409
650	7 » + 643 » . . . . .	7	100	70.5	513	321	318	87.0	595	331	331

Déformations des prismes de béton.

Les précontraintes de 0, 50 et 100 kg/cm<sup>2</sup> ont été appliquées aux âges de 3, 7, 14 et 90 jours.

Le durcissement s'est effectué dans l'eau à la température de + 15 jusqu'au moment de la mise sous précontrainte et ensuite à l'air, à l'abri des intempéries, l'humidité de l'air ayant varié entre 60 et 80 %; elle a été en moyenne de 70 %.

Les déformations sous contrainte nulle donne les

valeurs du retrait aux différents âges. Les déformations élastiques se calculent directement en se basant sur les précontraintes et les modules d'élasticité observés. Les déformations plastiques se déduisent en soustrayant les déformations élastiques et de retrait de celles totales.

Les résultats obtenus sont récapitulés sur les graphiques B et C.

Le graphique B montre quelle est l'influence sur les déformations de la consistance du béton, de la durée du

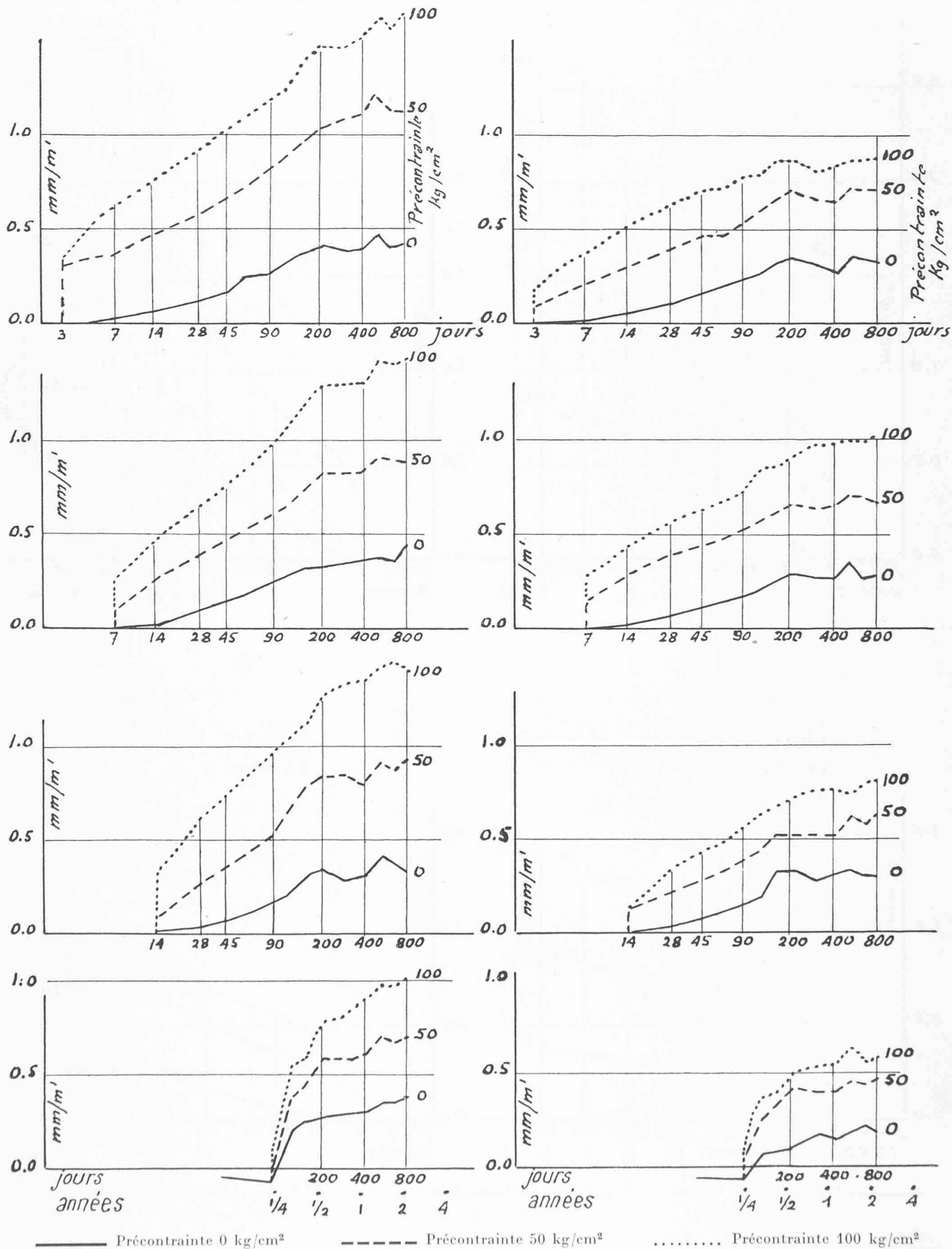
Essais effectués sur des prismes de béton précontraint.

GRAPHIQUE B.

Déformations totales de prismes de béton en fonction de l'âge lors de la mise sous précontrainte, de la précontrainte et de la consistance du béton.

Béton mou  
 Ciment 350 kg/m<sup>3</sup>  
 Ballast 0-30 1920 »  
 Eau 170 »  
 Δb = 2,42

Béton vibré  
 Ciment 360 kg/m<sup>3</sup>  
 Ballast 0-30 2000 »  
 Eau 136 »  
 Δb = 2,50



Essais effectués sur des prismes de béton précontraint.

GRAPHIQUE C.

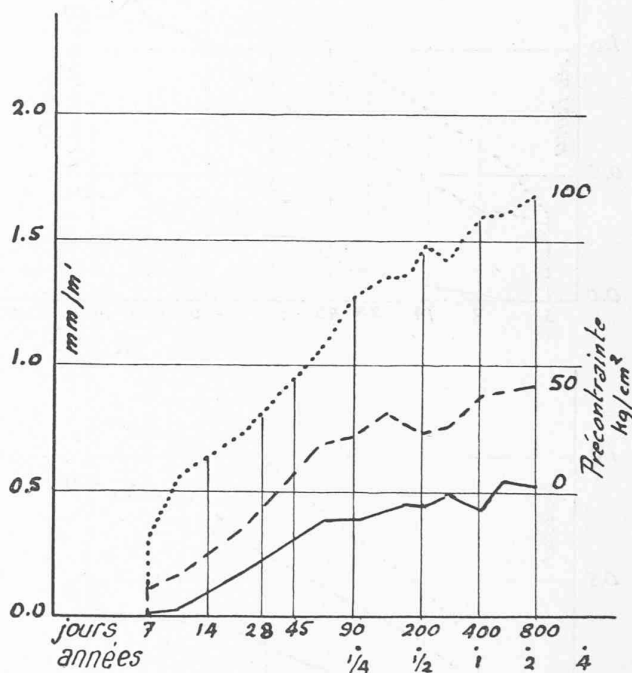
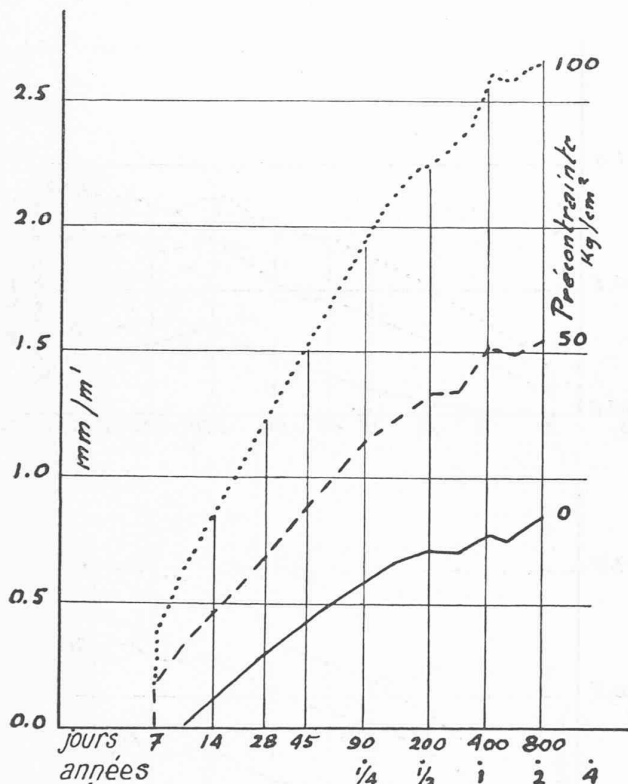
Variations de déformations totales de prismes de béton en fonction de la consistance, de la granulation et de la précontrainte.

Béton mou

Ciment	350 kg/m <sup>3</sup>
Ballast 0-6	1750 »
Eau	213 »
$\Delta b$	2,31

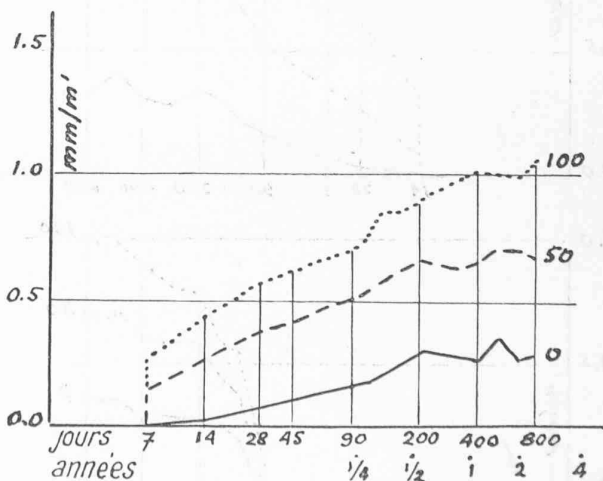
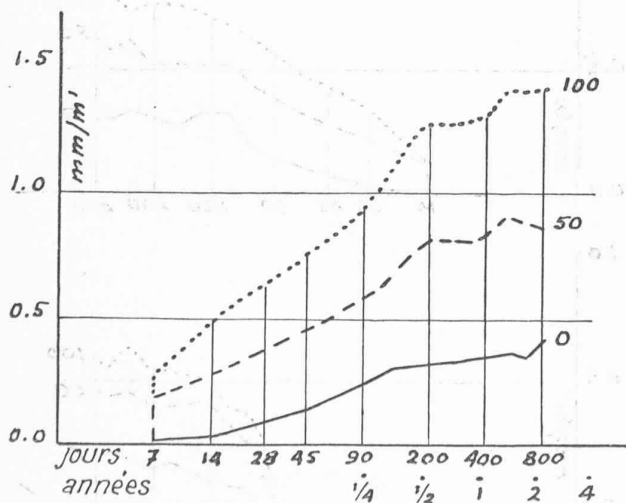
Béton vibré

Ciment	350 kg/m <sup>3</sup>
Ballast 0-6	1880 »
Eau	171 »
$\Delta b$	2,40



Ciment	350 kg/m <sup>3</sup>
Ballast 0-30	1920 »
Eau	170 »
$\Delta b$	2,42

Ciment	360 kg/m <sup>3</sup>
Ballast 0-30	2000 »
Eau	136 »
$\Delta b$	2,50



— Précontrainte 0 kg/cm<sup>2</sup>      - - - - - Précontrainte 50 kg/cm<sup>2</sup>      ..... Précontrainte 100 kg/cm<sup>2</sup>

durcissement au moment de l'application de la précontrainte, de la grandeur de celle-ci.

Le graphique C permet de comparer les déformations de quatre bétons à granulats et consistances différentes, la précontrainte étant appliquée au même âge de 7 jours.

Les bétons  $D = 6$  vibré et  $D = 30$  mou ont le même dosage, la même quantité d'eau de gâchage, le même  $C/E$  et sensiblement la même densité, tandis que leurs consistances et granulats sont différentes.

*Résultats des essais.* — Le tableau A, ainsi que les graphiques B et C permettent de faire les constatations générales suivantes :

1. Les déformations sont d'autant plus faibles que les précontraintes ont été appliquées après un plus long durcissement dans l'eau.

2. En règle générale, les déformations sont proportionnelles à l'intensité de la précontrainte. Il y a exceptions pour des bétons très compacts et pour ceux à faible densité. (Comparer les déformations rapportées sur le graphique C.)

3. Les déformations des bétons à la consistance de terre humide sont, pour une même précontrainte, notablement plus faibles que celles des bétons de même dosage et granulation à la consistance molle.

De même les déformations des bétons  $D = 6$  sont plus grandes que celle des bétons  $D = 30$  de même dosage et même consistance.

En d'autres termes *les déformations dépendent étroitement de la compacité (densité) du béton* ; ce n'est qu'indirectement qu'elles varient avec la consistance et la granulation dont le seul effet est de faire varier la compacité.

C'est ainsi que les déformations des bétons  $D = 6$  vibré et  $D = 30$  mou (graphique C) sont à peu près semblables, bien que leur granulation et leur consistance soient très différentes ; elles sont en rapport étroit avec leurs densités de 2,40 et 2,42.

Cette règle permet d'évaluer à l'avance la déformabilité d'un béton dès que sa densité est connue. Cette dernière ne devrait pas être inférieure à 2,45 pour un béton précontraint, à moins de consentir à des déformations importantes.

4. Il n'y a aucun rapport de proportionnalité entre les déformations et les résistances à la compression. En général celles-là sont d'autant plus faibles que celles-ci sont plus élevées. Il y a toutefois des exceptions pour lesquelles à une plus forte résistance correspond également une plus grande déformabilité (comparer les déformations et résistances de  $D = 30$  mou, mis sous presse à 3 jours,  $R_c = 284$ , avec  $D = 6$  mou, mis sous presse à 7 jours,  $R_c = 287$ . Même observation avec  $D = 30$  vibré mis sous presse à 3 jours, comparé avec  $D = 6$  vibré mis sous presse à 7 jours).

5. Les déformations sont d'autant plus faibles que le module d'élasticité du béton est plus élevé ; il n'y a pas proportionnalité. Pour que les déformations totales à deux ans sous précontrainte de  $100 \text{ kg/cm}^2$  ne dépassent

pas  $1 \text{ mm/m}^2$  il faut qu'au moment de l'application de la précontrainte le béton ait un module d'au moins  $360$  à  $400 \text{ t/cm}^2$ .

6. En général les déformations sous précontrainte sont sensiblement proportionnelles au retrait (voir graphiques B et C). Comme première approximation on peut admettre qu'une précontrainte de  $50 \text{ kg/cm}^2$  double et une précontrainte de  $100 \text{ kg/cm}^2$  triple les déformations de retrait sous charge nulle.

Cette constatation et la proportionnalité du retrait à la compacité du béton permettent d'évaluer à l'avance les déformations de n'importe quel béton sous n'importe quelle précontrainte.

7. Les essais ont été arrêtés à l'âge de deux ans, alors que les déformations continuaient à augmenter, d'ailleurs à allure très ralentie.

Sur les graphiques B et C les durées de précontrainte ont été portées en abscisse à une échelle logarithmique, ce qui permet des prévisions à longue échéance par extrapolation. Il est facile de constater qu'à l'âge de 16 ans, par exemple, les déformations ne se seront accrues que de 10-15 % par rapport aux grandeurs observées à l'âge de deux ans. Il n'y aurait donc eu qu'un intérêt très minime à poursuivre les essais plus longtemps.

Lausanne, le 3 juin 1942.

## ÉCOLE D'INGÉNIEURS DE L'UNIVERSITÉ DE LAUSANNE

### La dernière leçon de M. le professeur G. Dumas.

Le 8 juillet, à 17 h., le professeur G. Dumas donnait sa dernière leçon de *Calcul différentiel et intégral* à l'Université de Lausanne. Un grand nombre de collègues, d'amis, d'anciens élèves tinrent à venir l'entourer et lui témoigner ainsi l'estime, l'amitié ou la reconnaissance qu'ils lui portent.

Atteint par la limite d'âge, M. G. Dumas se retire, encore plein de vigueur, et la leçon qu'il fit l'autre jour permet d'affirmer que nous pourrions, de longues années encore, le voir se pencher sur les problèmes qui l'ont toujours passionné.

M. Dumas n'a pas voulu terminer sa belle carrière par l'exposé de tel chapitre particulier de sa science : c'est, en un raccourci saisissant, tout le problème de la science et de la vie qu'il a posé, développant ensuite les vues originales auxquelles une longue méditation l'ont conduit. L'auditoire, charmé, ne ménagea pas les marques de son admiration : ses applaudissements allaient, tout autant qu'à la magnifique leçon qu'il venait d'entendre, à toutes celles que, durant trente ans, M. Dumas avait données dans ce même auditoire.

Il appartenait ensuite à M. Stucky, directeur de l'École d'ingénieurs, à M. Cosandey, doyen de la Faculté des sciences et à M. G. de Rahm, professeur de mathématiques, de dire quelles furent la carrière et l'œuvre de M. Dumas. On nous permettra d'en écrire ici quelques mots.

Pendant trente ans, M. Dumas enseigna le Calcul différentiel et intégral à l'Université de Lausanne, enseignement de base, pour les futurs ingénieurs comme pour les mathématiciens. Il s'agissait d'exposer, de faire comprendre, assimiler, et cela en deux semestres, la matière considérable que