

**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande  
**Band:** 69 (1943)  
**Heft:** 8

**Artikel:** Contribution à l'étude du béton précontraint  
**Autor:** Bolomey, J.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-52510>

#### **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:** 26.01.2026

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

# BULLETIN TECHNIQUE

## DE LA SUISSE ROMANDE

### 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.

Paraissant tous les 15 jours

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 ; P. JOYE, professeur ; *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. MARTIN, architecte ; 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.

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

SOMMAIRE : *Contribution à l'étude du béton précontraint*, par J. BOLOMEY, professeur. — *Le plan d'aménagement national*, par M. le Dr h. c. A. MEILI. — *Société vaudoise des ingénieurs et des architectes : La création d'occasions de travail*. — DIVERS : *Colloque de physique de Lausanne*. — *BIBLIOGRAPHIE*. — *CARNET DES CONCOURS*. — *SERVICE DE PLACEMENT*.

### Contribution à l'étude du béton précontraint

par J. BOLOMEY, professeur,

chef de la division des matériaux pierreux du Laboratoire d'essai des matériaux de l'Ecole d'ingénieurs de l'Université de Lausanne.

En 1940 la commission du béton précontraint du Groupe des Ponts et Charpentes de la Société suisse des ingénieurs et des architectes chargeait M. le professeur J. Bolomey d'une série d'essais dont le but devait être à l'origine, la vérification de l'hypothèse Hoyer concernant l'ancre automatique de minces fils d'acier tendus, par gonflement des extrémités de ceux-ci ; éventuellement de rechercher comment cet ancrage des armatures à haute limite d'élasticité peut être amélioré et réalisé de façon pratique.

Ces essais se sont étendus par la suite à la détermination directe de l'adhérence acier-béton sur des prismes et des poutrelles armées.

Ces études ont fait l'objet d'un volumineux rapport déposé il y a près d'une année déjà. M. Bolomey a bien voulu nous autoriser à les reproduire. Elles constituent certainement une source de documentation précieuse sur un sujet de grande actualité qui fera du reste l'objet d'autres publications dans notre périodique.

(Réd.)

#### I. Adhérence au béton d'armatures d'acier à haute limite d'élasticité.

##### A. Essais d'arrachement de fils d'acier de 1, 2 et 3 mm de diamètre.

Les fils de 1, 2 et 3 mm de diamètre ont été enrobés dans les prismes de béton sur une longueur de 21 cm. Les prismes ont durci à l'air ou dans l'eau, les essais d'arrachement ont été effectués à 3, 7 et 28 jours. Les résultats

ci-après correspondent chacun à la moyenne de trois essais ; l'effort de traction indiqué correspond à celui nécessaire pour provoquer le décollement initial du fil, effort qui est souvent notablement inférieur à celui qu'il a fallu appliquer au cours de l'arrachement complet.

*Béton.* — Prismes de  $7 \times 7 \times 21$  cm de béton gradué suivant  $P = 10 + 90 \sqrt{d:15}$  ayant les caractéristiques suivantes : CP Holderbank spécial 390 kg/m<sup>3</sup> Densité 2,45 Ballast 0,1 à 15 mm 1910 » Rapport C : E 2,50 Eau 155 »

Durcissement	R. flexion		R. compression		Module E 10-100 kg/cm <sup>2</sup>	
	Eau	Air	Eau	Air	Eau	Air
		kg/cm <sup>2</sup>		kg/cm <sup>2</sup>		t/cm <sup>2</sup>
à 3 jours	74,4	60,0	434	364	370	362
» 7 »	85,7	68,8	597	513	402	402
» 28 »	90,0	80,7	658	581	411	391

*Aciers.* — Aciers du commerce de 1, 2 et 3 mm de diamètre, désignés comme aciers pour ressorts, ayant une résistance à la traction de 20 à 30 t/cm<sup>2</sup>.

#### Résultats des essais.

Diamètre des fils	Ø 1 mm		Ø 2 mm		Ø 3 mm	
	Air	Eau	Air	Eau	Air	Eau
3 jours.						
Effort de traction kg	32	55	37	95	140	126
Adhérence kg/cm <sup>2</sup>	4,9	8,3	2,8	7,2	7,1	6,4
7 jours.						
Effort de traction kg	20	70	54	75	40	140
Adhérence kg/cm <sup>2</sup>	3,0	10,6	4,4	5,7	2,0	7,1
28 jours.						
Effort de traction kg	45	60	87	120	120	182
Adhérence kg/cm <sup>2</sup>	6,8	9,1	6,7	9,3	6,1	9,2

Malgré la grande dispersion des résultats cette série d'essais permet de faire les constatations suivantes :

a) L'adhérence par  $\text{cm}^2$  de surface enrobée est indépendante du diamètre des fils.

b) L'adhérence croît avec la durée du durcissement, c'est-à-dire avec la résistance du béton.

c) L'adhérence est nettement plus élevée (environ 50 %) lorsque le béton a durci dans l'eau que lorsqu'il a été conservé à l'air. Cette constatation infirme l'hypothèse que l'adhérence est due au retrait.

d) Les adhésions de ces fils d'acier tréfilé sont toutes faibles et très inférieures à celles observées lors de l'arrachement des barres d'acier doux laminé, habituellement utilisées pour le béton armé. Pour ces dernières les efforts d'arrachement varient habituellement entre 30 et 70  $\text{kg/cm}^2$ .

Ces différences sont attribuables à l'état des surfaces. Les aciers doux laminés présentent de légères irrégularités de section, tandis que les aciers durs obtenus par tréfilage sont lisses et de section très régulière. L'effort d'arrachement n'est pas dû à une véritable adhérence acier-béton qu'il s'agit de vaincre (cette adhérence est toujours très faible) mais au cisaillement partiel de la gaîne de béton par les aspérités des barres. C'est pourquoi il arrive souvent qu'après un premier effort modéré qui provoque le décollement initial, il faut employer une traction plus énergique pour arracher complètement la barre, arrachement qui se produit par saccades.

C'est ainsi qu'aux essais ci-dessus nous avons obtenu pour les fils de 3 mm de diamètre :

		Décollement	Arrachement
à 3 jours	air	140 kg	249 kg
	eau	126 kg	262 kg
à 7 jours	air	40 kg	110 kg
	eau	140 kg	225 kg
à 28 jours	air	120 kg	166 kg
	eau	182 kg	361 kg

Pour améliorer l'adhérence il faut que la surface des barres soit aussi rugueuse que possible.

### B. Essais d'arrachement de fils d'acier de 1 mm de diamètre, lisses ou décapés à l'acide.

Fil d'acier Q 1 mm ayant une résistance à la traction de 210 kg, soit de 270  $\text{kg/mm}^2$ , enrobé dans un prisme de béton au ciment alumineux ayant une section de  $4 \times 4 \text{ cm}^2$ .

Les essais ont été effectués avec du fil d'acier lisse, tel que fourni par le commerce, et avec du fil préalablement décapé à l'acide pour obtenir des surfaces plus rugueuses.

#### Fil lisse.

Age du béton	Résistance compression du béton	Longueur enrobée	Effort arrachem.	Adhérence
Jours	$\text{kg/cm}^2$	cm	kg	$\text{kg/cm}^2$
1	420	12	45	11,8
2	470	8	28	11,2
2	470	16	80	16,0

#### Fil décapé à l'acide.

1	420	12	150	39,5
2	470	8	93-110 *)	37-43 *)
2	470	16	130-180 *)	26-36 *)

\*) Le premier chiffre indique le début du glissement du fil. Le second correspond à l'effort maximum qu'il a fallu fournir au cours du glissement du fil.

La série d'essais B montre la forte amélioration d'adhérence qu'il est possible de réaliser en attaquant les fils lisses à l'acide. Cette opération est cependant délicate et doit être surveillée pour que la corrosion ne devienne pas dangereuse. Dans le cas particulier des essais ci-dessus elle a eu pour effet de réduire de 5-10 % la résistance à la traction des fils de 1 mm diamètre ainsi traités.

### C. Essais d'arrachement de fils d'acier Q 3 mm.

Influence de la consistance du béton, de la longueur d'enrobement des barres, du traitement de celles-ci, ainsi que de la pré-tension des armatures.

#### Acier.

Acier étiré du commerce, désigné comme acier pour ressorts. Diamètre 3 mm, section  $7,07 \text{ mm}^2$ . Limite élastique 190  $\text{kg/mm}^2$ . Résistance traction 210  $\text{kg/mm}^2$ . Allongement à la rupture 1,7 %. Module d'élasticité 2150  $\text{t/cm}^2$ .

#### Béton.

Bétons gradués suivant  $P = 10 + 90 \sqrt{d : 15}$ .

	Mou	Vibré
Ciment Holderbank spécial . . . . .	377	390 $\text{kg/m}^3$
Ballast roulé 0,4 — 15 mm . . . . .	1840	1910 "
Eau . . . . .	183	150 "
Densité . . . . .	2,40	2,45
Rapport C : E . . . . .	2,05	2,60

#### Résistances à la compression :

3 jours . . . . .	280	360 $\text{kg/cm}^2$
7 " . . . . .	400	530 "
28 " . . . . .	550	620 "

Durcissement 3 jours sous toiles humides puis à l'air.

Longueurs d'enrobement : 15, 30 et 60 cm, soit 50, 100 et 200 diamètres.

#### Traitement des fils d'acier.

L : Fil lisse, tel que livré par le commerce. — A : Fil dégraissé à l'alcool puis immergé pendant dix minutes dans une solution à 50 % d'acide azotique et ensuite lavé. — L. T. : Fil lisse, tendu à 950 kg ( $135 \text{ kg/mm}^2$ ) puis lâché après 10 jours de durcissement du béton. — A. T. : Fil décapé à l'acide, tendu à 950 kg, puis lâché après 10 jours de durcissement du béton.

Ces essais ont donné les résultats suivants :

#### Bétons mous.

Traitement	Age aux essais	Résistance à l'arrachement					
		en kg			en $\text{kg/cm}^2$ de surface enrobée		
		Longueur enrobée			Longueur enrobée		
Jours		15 cm	30 cm	60 cm	15 cm	30 cm	60 cm
L	16	154	272	457	11,0	9,7	8,1
A	14	290	490	630	20,6	17,6	11,3
LT	15	180	250	260	12,8	9,0	4,6
AT	22	110/190*	525/940*	1015/1300	7,8	18,7	18,2
					13,6	33,5	23,2

Remarque : Lorsque la résistance est indiquée par deux nombres, le premier correspond au décollement initial, le second à l'effort maximum d'arrachement au cours de l'essai.

*Bétons vibrés.*

	Age Jours	15 cm kg	30 cm kg	60 cm kg	15 cm kg/cm <sup>2</sup>	30 cm kg/cm <sup>2</sup>	60 cm kg/cm <sup>2</sup>
L	16	320	—	600	22,8	—	10,7
A	16	—	—	1310/1370	—	—	23,2/24,3
LT	16	220	—	660	15,8	—	11,8
AT	16	—	—	690/750	—	—	12,2/13,2

Il ressort de ces essais que :

1. L'effort d'arrachement croît avec la longueur d'enrobement, mais non pas proportionnellement à celle-ci. Ce phénomène doit être attribué à l'allongement élastique du métal qui entraîne un décollement progressif de l'armature.

2. L'adhérence est meilleure dans le béton vibré que dans celui à la consistance molle. Elle paraît dépendre de la résistance du béton au cisaillement et non pas de l'étreinte due au retrait.

3. L'adhérence des fils attaqués à l'acide (rouillés) est en général nettement supérieure à celle des fils à l'état de livraison. Elle reste néanmoins très modérée pour les fils de 3 mm tréfilés.

4. L'adhérence des fils préalablement tendus a été en général inférieure à celle des fils non tendus. Ce fait s'explique par un glissement initial de l'armature tendue lors de la libération de la pré-tension de l'acier. Il est nettement en contradiction avec la théorie Hoyer.

Ce glissement initial a été mesuré lors de la mise sous précontrainte du béton après 11 jours de durcissement, sur les prismes de 60 cm de longueur en béton mou ou vibré armés d'un fil de 3 mm Ø soumis à une pré-tension de 950 kg (13,5 t/cm<sup>2</sup>).

L'allongement initial de l'armature dû à la pré-tension a été de

$$\frac{13,5 \text{ t/cm}^2}{2150 \text{ t/cm}^2} \times 0,60 \text{ m} = 3,8 \text{ mm.}$$

Au moment de la mise sous précontrainte du béton, l'armature enrobée s'est raccourcie par glissements de :

Béton mou, acier lisse	raccourcissement	3,1 mm
»      »      »      décapé	»	2,0      »
»      »      »      lisse	»	3,6      »
»      »      »      décapé	»	2,6      »

Ces glissements tendent à s'accentuer avec la durée du durcissement. Par suite de ceux-ci la traction initiale de l'acier avait en grande partie disparu lors des essais d'arrachement de l'armature; elle n'était plus, en moyenne, que de :

Béton mou, acier lisse

$$(3,8-3,1) \times 2150 \times 0,07 : 0,60 = 175 \text{ kg}$$

»      »      »      décapé

$$(3,8-2,0) \times 2150 \times 0,07 : 0,60 = 450 \text{ »}$$

Béton vibré, acier lisse

$$(3,8-3,6) \times 2150 \times 0,07 : 0,60 = 50 \text{ »}$$

»      »      »      décapé

$$(3,8-2,6) \times 2150 \times 0,07 : 0,60 = 300 \text{ »}$$

En admettant un module d'élasticité du béton de 350 000 kg/cm<sup>2</sup>, le raccourcissement du prisme en raison de la précontrainte aurait dû être, environ, de

$$\frac{950 \text{ kg} \times 1000 \text{ mm}}{50 \text{ cm}^2 \times 350000 \text{ kg/cm}^2} = 0,054 \text{ mm/m}^1 ;$$

en réalité le raccourcissement mesuré n'a été que de 0,0037 mm/m<sup>1</sup> près des extrémités et de 0,0133 mm/m<sup>1</sup> au milieu du prisme de béton mou, acier lisse. Cette constatation confirme le glissement très notable de l'armature.

Ces essais d'adhérence ont été répétés sur des poutrelles de 265 cm de longueur, armées de fils de 3 mm de diamètre, lisses.

a) Prétension de l'acier de 1000 kg/fil, soit de 14,2 t/cm<sup>2</sup>. Lors de la suppression de l'ancrage terminal, le glissement de l'armature a été constaté jusqu'à 65 cm de l'extrémité de la poutrelle lors d'un premier essai, jusqu'au milieu de la poutrelle lors d'un second essai.

Des essais d'arrachement ont entraîné la rupture des fils, après dépassement de la limite d'élasticité du métal.

b) Essai d'arrachement d'un fil non tendu.

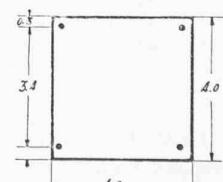
Traction du fil	Glissement observé jusqu'à une distance de
3 t/cm <sup>2</sup> . . .	40 cm
6      »      . . .	100      »
8,5      »      . . .	160      »
18      »      . . .	le fil glisse d'un bout à l'autre de la poutrelle.

Pour éviter le glissement des fils, il faut une grande longueur d'enrobement ou diminuer l'effort d'arrachement ou encore assurer à l'armature un ancrage efficace. Dans de nombreux cas la simple adhérence ne suffira pas à assurer une sécurité suffisante.

L'effet Hoyer, soit ancrage par gonflement des fils, n'a pu être mis en évidence par les essais ci-dessus.

**D. Essais à la flexion de petits prismes armés de fils de 1 mm Ø.**

Première série. — Prismes de 4×4×32 cm, armés de 4 fils de 1 mm Ø ayant une résistance à la traction de 270 kg/mm<sup>2</sup>, soit de 210 kg/fil, placés à 3 mm des arrêtes.



Béton au ciment alumineux gradué suivant

$$P = 10 + 90\sqrt{d:6}.$$

Dosage 310 kg/m<sup>3</sup>, eau 200 kg/m<sup>3</sup>, C/E = 1,50.

R flexion à 3 jours = 65 kg/cm<sup>2</sup>

R compression à 3 jours = 520      »

## Tensions calculées.

	Béton non fissuré	Béton fissuré $n=10$
$\sigma_{bc} = \sigma_{bt}$	= 0,09 M	$\sigma_{bc} = 0,28 M$
$\sigma_{at}$	= 0,77 M	$\sigma_{at} = 17,7 M$
I	= 22 $cm^4$	

Mise sous précontrainte du béton à 3 jours.

Age aux essais 3 jours.

Charge  $P$  appliquée au milieu de la portée de 28 cm et provoquant une flèche  $F_{cm} = 455 P : EI$ .

*Prisme I.* — Quatre fils de 1 mm Ø, tendus à 145 kg/fil soit à 185 kg/mm<sup>2</sup>. La précontrainte initiale du béton est ainsi de 36 kg/cm<sup>2</sup>.

Pour  $P = 185$  kg, le prisme se fissure et la charge tombe brusquement.

$P = 0$  la fissure se referme.

$P = 125$  charge maximum, les fils glissent par suite de la disparition de leur précontrainte.

*Prisme II.* — Quatre fils de 1 mm Ø, décapés à l'acide et soumis à une précontrainte initiale de 145 kg/fil.

$P_{kg}$	0	25	50	75	100	125	148
$M_{cm} kg$	0	175	350	525	700	875	1040
$F_{mm}$	0,00	0,03	0,06	0,09	0,12	0,16	0,45 *

\* Fissure, la charge tombe.

La flèche permanente de 0,43 mm lorsque la charge est ramenée à zéro est due à un léger glissement des fils. La charge ne peut ensuite être remontée au-dessus de 70 kg.

Pour  $P = 70$  kg  $\sigma_{at} = 17,7 \times 490 = 8700$  kg/cm<sup>2</sup> soit 68 kg/fil.

$$\text{Adhérence} = \frac{68}{0,1 \times \pi \times 16} = 13,6 \text{ kg/cm}^2.$$

*Prisme III.* — Quatre fils 1 mm Ø, décapés, non tendus.

$P_{kg}$	0	25	50	75	100	118
$M_{cm} kg$	0	175	300	525	700	825
$F_{mm}$	0	0,03	0,06	0,08	0,11	— *

\* Fissure, la charge tombe et ne peut être remontée au-dessus de 86 kg. Les fils glissent.

*Prisme IV.* — Quatre fils de 1 mm, décapés, tendus à 145 kg/fil.

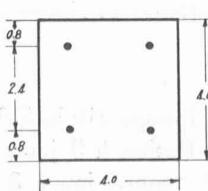
$P_{kg}$	0	25	100	125	150	175
$M_{cm} kg$	0	175	700	875	1050	1225
$F_{mm}$	a) 0,00	0,012	0,082			
	b) 0,016	0,090	0,120	0,142		
	c) 0,035	—	—	—	0,270 *	
	d) 0,410					

a, b, c, d, réitérations de la charge.

\* Fissure, la charge tombe.

La flèche permanente, lorsque  $P$  est ramené à 25 kg, correspond à un léger glissement de l'armature.

*Deuxième série.* — Prismes de  $4 \times 4 \times 96$  cm, armés de 4 fils d'acier de 1 mm diamètre, décapés, ayant une résistance à la traction de 270 kg/mm<sup>2</sup>, soit de 210 kg/fil. Pour les prismes V et VI, béton



au ciment alumineux comme pour la première série. Pour les prismes VII et VIII, béton de même granulation et de même dosage, mais au CP Holderbank spécial.

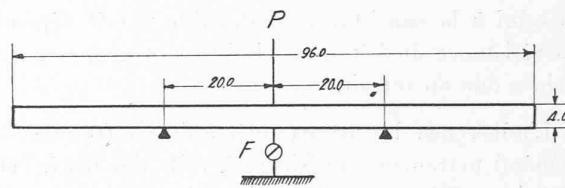
## Tensions calculées.

	Béton non fissuré : kg/cm <sup>2</sup>	Béton fissuré : kg/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{bc} = \sigma_{bt}$	= 0,09 M	$\sigma_{bc} = 0,35 M$
$\sigma_{at}$	= 0,55 M	$\sigma_{at} = 20,5 M$
I	= 22 $cm^4$	

Mise sous précontrainte. Prismes V et VI à 3 jours  
» VII » VIII » 7 »

Age aux essais. » V » VI » 37 »  
» VII » VIII » 30 »

Charge concentrée au milieu de la portée de 40 cm et provoquant une flèche  $F_{cm} = 1330 P : EI$ .



*Prisme V.* — Quatre fils de 1 mm tendus à 145 kg/fil.

$P_{kg}$	0	10	50	100	124
$M_{cm} kg$	0	100	500	1000	1250
$F_{mm}$	0,00	0,038	0,150	0,280	0,450 *

\* Fissure  
 $P = 115$  Très fortes déformations.  
 $P = 132$  Rupture des fils.

La flèche permanente lorsque, après la fissuration, la charge a été ramenée à 10 kg est due au glissement de l'armature.

*Prisme VI.* — Quatre fils de 1 mm, non tendus.

$P_{kg}$	0	10	50	75
$M_{cm} kg$	0	100	500	750
$F_{mm}$	0,000	0,053	0,135	0,205

$P = 83$  Fissure, la charge tombe ; lorsqu'elle est ramenée à 50 kg, il y a des fortes déformations, glissement de l'armature.

$P = 128$  Rupture des fils.

*Prisme VII.* — Quatre fils de 1 mm, tendus à 145 kg.

$P_{kg}$	0	10	25	50	75	100
$M_{cm} kg$	0	100	250	500	750	1000
$F_{mm}$	0	0,050	0,073	0,122	0,173	0,210

$P = 145$  Fissure, la charge tombe à 135 kg.

Les fils cassent lorsque la charge est ramenée à 145 kg.

*Prisme VIII.* — Quatre fils de 1 mm, non tendus.

$P_{kg}$	0	10	25	50	65
$M_{cm} kg$	0	100	250	500	650
$F_{mm}$	0	0,020	0,040	0,105	—

$P = 65$  kg Fissure, la charge tombe à 30 kg, glissement de l'armature.

Les essais ci-dessus ont été répétés sur les coupons des prismes V à VIII, tombés après l'essai principal.

*Prisme V.*

Portée 40 cm  $M = 1200 \text{ cm kg}$  rupture des fils.  
 » 20 »  $M = 1080 \text{ " "}$  glissement des fils.

*Prisme VI.*

Portée 40 cm  $M = 770 \text{ cm kg}$  fissure et glissement fils.  
 » 20 »  $M = 1480 \text{ " "}$  rupture fils.

*Prisme VII.*

Portée 40 cm  $M = 1450 \text{ cm kg}$  fissure et rupture des fils.  
 » 20 » a  $\begin{cases} M = 1175 \text{ " "} \\ 1300 \text{ " "} \end{cases}$  fissure.  
 b  $\begin{cases} M = 1475 \text{ " "} \\ M = 1550 \text{ " "} \end{cases}$  1 fil casse, 1 fil glisse.  
 les fils cassent.

*Prisme VIII.*

Portée 40 cm a)  $M = 600 \text{ cm kg}$  fissure, glissement armature  
 b)  $M = 700 \text{ " " " " "}$  ture  
 Portée 20 cm a)  $M = 775 \text{ " " " " "}$   
 b)  $M = 720 \text{ " " " " "}$   
 c)  $M = 785 \text{ " " " " "}$

Les essais sur prismes I à VIII confirment les résultats des essais directs de traction. Tous les prismes ont péri, une fois surmontée la résistance à la traction du béton, par suite du glissement des armatures qui a toujours été nettement constaté dès l'apparition de la première fissure.

Celle-ci s'est produite sous un moment de 1040 à 1450 cm kg, en moyenne 1250 cm kg, pour les prismes soumis à une précompression de

$$\frac{4 \times 145}{50} = 36 \text{ kg/cm}^2;$$

sous un moment de 650 à 830 cm kg, en moyenne 770 cm kg, pour les prismes non précontraints. La différence de 480 cm kg correspond à une augmentation moyenne de la résistance du prisme à la flexion, due à la précompression de

$$480 \times 0,09 = 43 \text{ kg/cm}^2,$$

par rapport à celle du béton non précontraint qui a été de  $770 \times 0,09 = 69 \text{ kg/cm}^2$ .

Le glissement des armatures a déjà été constaté sur certains prismes sous des moments ne dépassant pas 500 à 600 cm kg, ce qui correspond à un effort de traction de l'acier d'un prisme fissuré non précontraint de 90 à 120 kg/mm<sup>2</sup>, c'est-à-dire bien au-dessous de la résistance à la rupture des fils qui est de 270 kg. Le moment maximum supporté par les prismes précontraints a été de 1450 cm kg, ce qui correspond à une traction dans l'acier de  $18500 + 1450 \times 0,55 = 19300 \text{ kg/cm}^2$ , soit le 70 % seulement de sa résistance à la rupture. L'emploi d'acier à très haute limite d'élasticité n'est rationnel que si l'on peut assurer aux armatures une adhérence ou un ancrage suffisant pour qu'elles ne glis-

sent pas, même après l'apparition de la première fissure.

Les essais des prismes I à VIII présentent encore les particularités suivantes :

a) Le glissement des fils lors de la mise sous précompression du béton ne paraît s'être fait sentir que sur une faible longueur à partir des extrémités des prismes. C'est l'avantage connu de l'emploi des fils de très petit diamètre.

b) La traction dans l'acier des prismes V à VIII n'augmente que de 5 kg/mm<sup>2</sup> pour un moment supplémentaire de 1000 cm kg tant que le béton n'est pas fissuré ; cette augmentation est de 205 kg/mm<sup>2</sup> pour un même moment supplémentaire de 1000 kg/cm<sup>2</sup> dès que le béton est fissuré. Cette grosse différence rend les glissements inévitables.

La précompression initiale est annulée par un moment de 400 cm kg ( $0,09 \times 400 = 36 \text{ kg/cm}^2$ ) ; la traction dans l'acier est alors de  $185 + 4,00 \times 0,55 = 187 \text{ kg/mm}^2$ .

Supposons que le béton se fissure pour  $M = 1000 \text{ cm kg}$ . Immédiatement avant la rupture la traction dans l'acier était de 190 kg/mm<sup>2</sup> et celle du béton de  $90 - 36 = 54 \text{ kg/cm}^2$ . Immédiatement après la fissuration, la traction dans le béton s'annule et celle de l'acier passe à  $187 + (1000 - 400) \times 0,205 = 310 \text{ kg/mm}^2$ , ce qui dépasse sa résistance.

Les fils devront donc se rompre à moins que, par suite du glissement de l'armature ou par suite du dépassement local de la limite d'élasticité de l'acier, la précontrainte disparaîsse en tout ou en partie. Dans ce cas, pour un moment de 1000 cm kg, la traction dans l'acier n'est plus que de 205 kg/mm<sup>2</sup>, ce qu'il peut supporter.

Dans les essais ci-dessus il y a toujours eu, sauf sur les coupons de 40 cm des prismes V et VII, disparition de la précontrainte par suite du glissement des fils. Sur les coupons des prismes V et VII il y a eu rupture brusque, sans aucun signe précurseur.

**E. Essais d'ancrage des armatures.**

Les essais précédents ont montré la nécessité d'assurer un ancrage efficace des armatures, la simple adhérence de barres d'acier à haute limite d'élasticité, obtenues par étirage, étant insuffisante.

Nous avons obtenu, lors des essais précédents, les efforts d'arrachement suivants :

*Série A.* — Longueur enrobement 21 cm ; fil lisse.

Diamètre du fil	Efforts d'arrachement en kg	en kg/mm <sup>2</sup> de section du fil
1 mm	20—70	25—90
2 »	37—120	12—38
3 »	40—182	6—26

*Série B.* — Longueur d'enrobement 8 et 16 cm. Fil lisse ou fil décapé à l'acide.

Diamètre du fil	Efforts d'arrachement en kg	en kg/mm <sup>2</sup>
1 mm lisse	28 à 80	36 à 103
1 » décapé	93 à 130	120 à 167

*Série C.* — Longueur d'enrobement 60 cm, fils de 3 mm diamètre lisses ou décapés à l'acide, avec ou sans tension préalable.

	<i>Effort d'arrachement</i> en kg	<i>en kg/mm<sup>2</sup></i> ( $S = 7,05 \text{ mm}^2$ )
Béton mou, acier lisse	260—457	37 à 65
» » décapé	630—1015	90 » 144
» vibré, » lisse	600—660	85 » 93
» » décapé	690—1310	96 » 186

*Série D.* — Longueur enrobement 16 et 48 cm, fils de 1 mm diamètre, lisses ou décapés.

Effort d'arrachement (glissement armature) = 120 à 170 kg/mm<sup>2</sup>.

L'effort d'arrachement, exprimé en kg/mm<sup>2</sup> de section des fils, croît avec la longueur de l'enrobement, mais non pas proportionnellement à celle-ci ; il augmente quand le diamètre des fils diminue ; il est majoré par le décapage de l'acier à l'acide qui augmente la rugosité des surfaces.

Ces mesures ne sont pas toujours suffisantes, surtout s'il est fait usage d'acières à très haute limite d'élasticité de 200 à 270 kg/mm<sup>2</sup> comme au cours des essais ci-dessus. De plus elles n'assurent pas une sécurité suffisante, les résultats pouvant varier fortement d'un essai à l'autre. D'autre part l'emploi d'acières de très petits diamètres se heurte à de gros inconvénients tant économiques que résultant de l'encombrement des armatures qui rend difficile la mise en œuvre d'un béton de qualité.

De nombreux essais ont été effectués au Laboratoire de Lausanne pour chercher à réaliser des ancrages convenables des extrémités des fils, mais sans grand succès. Par exemple :

1. *Soudure à l'étain de douilles d'ancrage.* — Pour des fils d'acier de 3 mm de diamètre, préalablement étamés, le glissement dans la soudure s'est produit sous des efforts de traction variant de 300 à 530 kg, soit 40 à 75 kg/mm<sup>2</sup>.

2. *Soudure électrique.* — La résistance à l'arrachement a varié de 440 à 740 kg, soit de 62 à 105 kg/mm<sup>2</sup>. Il convient de rappeler que la soudure électrique provoque une diminution considérable de la résistance des aciers à haute limite d'élasticité. C'est d'ailleurs une opération trop délicate pour être utilisée sur un chantier de bétonnage.

3. *Frettage à chaud de manchons d'ancrage.* — L'effort d'arrachement a atteint 120 kg/mm<sup>2</sup>, mais c'est un procédé peu pratique pour le chantier.

4. *Serrage à froid de manchons d'ancrage.* — L'effort d'arrachement a atteint 127 kg/mm<sup>2</sup>. Ici encore il s'agit d'un procédé peu pratique pour le chantier.

5. *Matage à froid* du fil à l'extrémité d'un manchon d'amarrage. La résistance à l'arrachement a atteint 148 kg/mm<sup>2</sup>. Procédé peu pratique pour le chantier.

L'ancrage des fils de la poutrelle *c* (voir plus loin) a été réalisé par l'aplatissement au marteau des extrémités des fils, derrière les plaques d'ancrage.

Tous ces procédés ont l'inconvénient de ne pas se prêter à l'exécution simultanée de plusieurs poutrelles placées les unes à la suite des autres, ce qui est d'une grande importance économique et facilite le réglage des tensions des différentes barres par suite de la grandeur des déformations élastiques.

D'autre part l'ancrage aux extrémités des barres ne suffit plus dès que la résistance à la traction du béton est dépassée et qu'il se produit une fissure. Au point fissuré l'acier travaille seul à la traction, à un taux élevé. Immédiatement à côté le béton intact contribue encore à la résistance et soulage l'armature. Il en résulte entre deux points très voisins de l'armature des différences de taux de travail considérables qui provoquent des glissements locaux qui peuvent devenir dangereux en cas de sollicitations répétées.

Ce danger de glissement local sur la partie centrale des barres tendues, alors que les extrémités de celles-ci sont solidement ancrées, n'est guère à craindre dans le béton armé ordinaire à cause des taux de travail modérés de l'armature et parce que l'adhérence des fers ronds laminés au béton est généralement suffisante. Il n'en est plus de même pour le béton précontraint où le pourcentage d'armature est faible et travaille à un taux élevé, en même temps que l'adhérence des aciers étirés est faible. Dans ce cas, pour éviter tout glissement local, il faut assurer l'ancrage continu des barres sur toute leur longueur ou les laisser glisser librement, dans une gaîne ad hoc, entre les ancrages terminaux.

L'ancrage continu peut être réalisé par l'acier Isteg ou mieux, selon le brevet Sarrasin, par l'emploi d'acier carré tordu.

Des essais d'arrachement ont été effectués sur des aciers carrés de 4 et 5 mm de côté, enrobés dans des prismes de béton de 9, 15 et 21 cm de longueur, ayant une résistance à la compression de 530 kg/cm<sup>2</sup>.

<i>Acier 4/4</i>	<i>R. traction</i>	<i>Allongement</i>	<i>Module élasticité</i>
Non tordu	148 kg/mm <sup>2</sup>	7,8 %	1920 t/cm <sup>2</sup>
tordu	158 »	7,3 %	1920 »

<i>Acier 5/5</i>	<i>R. traction</i>	<i>Allongement</i>	<i>Module élasticité</i>
Non tordu	45 kg/mm <sup>2</sup>	15 %	1900 t/cm <sup>2</sup>
tordu	50 »	12 %	1900 »

#### *Résistances à l'arrachement des barres.*

<i>Acier 4/4</i>	<i>Longueur enrobée</i>	<i>R. arrachement</i>	<i>Observations</i>
Non tordu	9 cm	260—290 kg	Acier glisse
» »	15 »	260—330 »	» »
» »	21 »	380—780 »	» »

<i>Tordu</i>	<i>Longueur enrobée</i>	<i>R. arrachement</i>	<i>Observations</i>
9 cm	1060—1680 kg	Eclatement béton	
15 »	1070—1620 »	» »	
21 »	2380 »	Rupture acier.	

<i>Acier 5/5</i>	<i>Longueur enrobée</i>	<i>R. arrachement</i>	<i>Observations</i>
Non tordu	9 cm	200—630 kg	Acier glisse
» »	15 »	420—1010 »	» »
» »	21 »	512—1250 »	» »

<i>Tordu</i>	<i>Longueur enrobée</i>	<i>R. arrachement</i>	<i>Observations</i>
9 cm	1375—1385 kg	Rupture acier	
15 »	1310—1350 »	» »	
21 »	1305 »	» »	

Ainsi que c'était prévu, l'acier tordu augmente très fortement la résistance à l'arrachement.

Par contre les faces obliques des barres tordues exercent des efforts considérables dans le sens transversal des prismes, efforts qui peuvent faire éclater le béton si des mesures appropriées n'ont pas été prises pour combattre ce danger, qui existe aussi lors de l'emploi de l'acier Isteg.

#### F. Résumé des résultats.

Les essais d'adhérence effectués sur fils d'acier tréfilé à haute limite d'élasticité ont abouti aux conclusions suivantes :

1. L'adhérence, en  $\text{kg/cm}^2$  de surface de fil enrobée, est indépendante du diamètre des fils.

2. L'adhérence croît avec la durée du durcissement, c'est-à-dire avec la résistance au cisaillement et la compacité du béton.

3. L'adhérence est nettement plus élevée (environ 50 %) lorsque le béton a durci dans l'eau que s'il a été conservé à l'air. Elle n'est donc pas influencée par le retrait.

4. L'adhérence croît avec la rugosité de la surface des fils, c'est pourquoi elle est améliorée par le décapage à l'acide ou par la rouille.

5. L'adhérence des aciers tréfilés, même rouillés, est très inférieure à celle des aciers laminés ; elle est souvent inférieure à  $10 \text{ kg/cm}^2$ , ce qui nécessite une grande longueur d'enrobement.

Celle-ci peut être réduite en utilisant des fils de très petits diamètres, c'est-à-dire en augmentant le périmètre enrobé par rapport à la section des fils. Ce procédé a toutefois l'inconvénient de compliquer considérablement et de renchérir l'exécution des constructions en béton précontraint.

6. L'effort d'arrachement croît avec la longueur de l'enrobement, mais plus lentement que celle-ci, à cause du décollement progressif dû à l'élasticité du métal. Une traction de  $10 \text{ t/cm}^2$  correspond en effet à un allongement d'environ  $5 \text{ mm/ml}$ , de sorte que le décollement (cisaillement du béton) se propage de proche en proche, par saccades, et non d'une façon continue.

7. L'effet d'ancrage dû au gonflement de l'acier libéré de sa prétension initiale est insignifiant. Il est généralement complètement annulé par le glissement initial de l'armature qui cisaille le béton sur la longueur de ce glissement et diminue l'adhérence ultérieure sur ce tronçon.

8. L'ancrage aux extrémités des barres s'est montré être d'une réalisation difficile et peu sûre dès qu'il est fait usage d'acières durs dont la limite d'élasticité dépasse  $8$  à  $10 \text{ t/cm}^2$ .

9. L'ancrage dans le béton de barres d'acier carré tordu (brevet Sarrasin) est excellent et efficace, même sur de faibles longueurs.

Les réactions sur les faces obliques des barres créent toutefois des efforts latéraux considérables qui peuvent devenir dangereux si les armatures sont placées trop près de la surface du béton.

(A suivre.)

## Le plan d'aménagement national

par M. le Dr h. c. A. MEILI.

*A l'instant où vient de se constituer l'Association pour l'aménagement national, nous pensons indiqué de soumettre à nos lecteurs le texte de l'exposé que fit récemment devant les membres de la section genevoise de la S. I. A., M. A. Meili, président de ce nouveau groupement. Les buts de cette organisation y sont clairement exposés ainsi que les moyens d'action que proposent les auteurs de ce mouvement. Nous aurons du reste l'occasion de revenir ultérieurement encore sur ce sujet de grande actualité.*

Messieurs,

C'est avec un plaisir tout particulier que je donne suite à votre invitation à venir parler, devant votre section, de l'aménagement national. Je tiens à vous en remercier, vous et votre président Albert Rossire, auquel me lie une cordiale amitié datant de nos années d'études, en tant que collègue et Zofingien.

Aujourd'hui et devant vous, je pourrai quelque peu me résumer en parlant de l'aménagement national, mieux que ce n'aurait été possible plus tôt et ailleurs. En effet, chez vous à Genève, dans la ville du général Dufour, l'idée de l'organisation de l'espace s'est, depuis longtemps déjà, exprimée en un urbanisme largement conçu.

Je pourrai donc baser mon exposé sur des idées qui vous sont familières et qui, chez vous, sont déjà en train de se réaliser : c'est-à-dire l'aménagement national comme suite logique de l'urbanisme ou, en deux mots : la coordination de l'ensemble des plans des villes et communes en un aménagement de la région et du pays tout entier, dans le but d'une utilisation rationnelle du sol.

Notre pays comporte des zones productives et des zones improductives. Les unes et les autres doivent être mises en valeur et rentrent donc dans le cadre de l'aménagement national. Les régions stériles de haute montagne sont également utilisées, soit pour produire de l'énergie électrique, soit pour établir des voies de communications routières ou ferroviaires. S'il m'arrive donc de les distinguer, ce n'est pas qu'elles soient localisées. En effet, chacun des éléments de l'aménagement national est réalisé dans chacune de nos vallées. Ces éléments, au nombre de quatre, sont :

Tout d'abord l'espace nourricier, qui fournit les matières premières. Il s'agit ici des régions réservées à l'élevage, à l'agriculture, à la sylviculture, à la chasse et à la pêche, à l'utilisation des forces hydrauliques, à l'exploitation des mines.

Ensuite, l'espace de la production, consacré à l'industrie et à l'artisanat.