Zeitschrift: IABSE publications = Mémoires AIPC = IVBH Abhandlungen
Band: 12 (1952)

Artikel: Expériences de relaxation des contraintes dans le béton précontraint
Autor: Dawance, Guy
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-12317

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: 11.07.2025

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

Expériences de relaxation des contraintes dans le béton précontraint

Versuche über Kriech- und Schwindverluste in vorgespanntem Beton

Tests concerning creep and shrinkage losses in pre-stressed concrete

GUY DAWANCE, Ingénieur Arts et Métiers. Chef de Service aux Laboratoires du Bâtiment et des Travaux Publics, Paris

En analysant le comportement de poutres en béton précontraint on se rend compte que le taux de précontrainte du béton diminue d'une manière appréciable dans le temps.

Cette variation du taux de précontrainte est due à de nombreux effets. Parmi ceux-ci il y a:

1° La relaxation des aciers, c'est-à-dire la diminution de contrainte des aciers, au cours du temps, sous longueur constante. Ce phénomène est très voisin du fluage. Il est dû à des déformations lentes non réversibles des aciers.

2° Le retrait du béton.

3° Les déformations lentes du béton.

Le retrait et les déformations lentes du béton agissent pour diminuer la longueur des pièces en béton précontraint et provoquent une diminution de la contrainte dans les aciers et, par suite, une diminution générale du taux de précontrainte du béton.

Aussi, il est très important de pouvoir évaluer, même sommairement, dans des conditions d'emploi bien précises, quelles peuvent être ces chutes de précontrainte. C'est le but de la présente recherche. Les valeurs trouvées se rapportent évidemment à des bétons et des aciers particuliers, mais le phénomène d'ensemble est relativement facile à interpréter et il est raisonnable de penser qu'au moyen d'essais simples, mais malheureusement longs, il sera possible d'évaluer les chutes de précontrainte.

Dispositif experimental (fig. 1 et 2)

Dans les séries d'essais suivantes on a mesuré la diminution de précontrainte des aciers par une méthode vibratoire.

Les fils d'acier servant à donner la précontrainte sont tendus sur un bâti et viennent prendre appui sur des prismes de béton qui sont ainsi mis en

compression. On mesure leur fréquence de vibration transversale au moyen d'un poste d'écoute pour témoins sonores (système Coyne). Pour que la fréquence soit directement mesurable avec cet appareil on oblige le fil à vibrer sur l'harmonique 3[1]). On obtient ainsi une mesure de la contrainte du fil d'une bonne précision, 1%. Cette précision peut se conserver pendant de nombreuses années sans précautions spéciales.

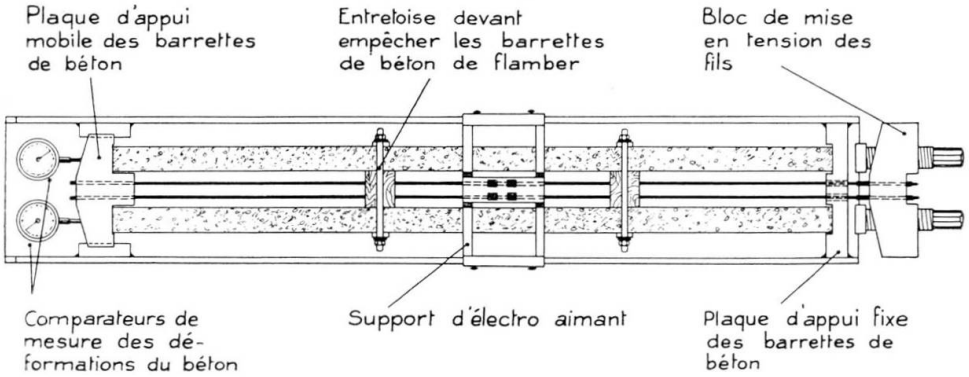

Fig. 1. Schéma du bâti.

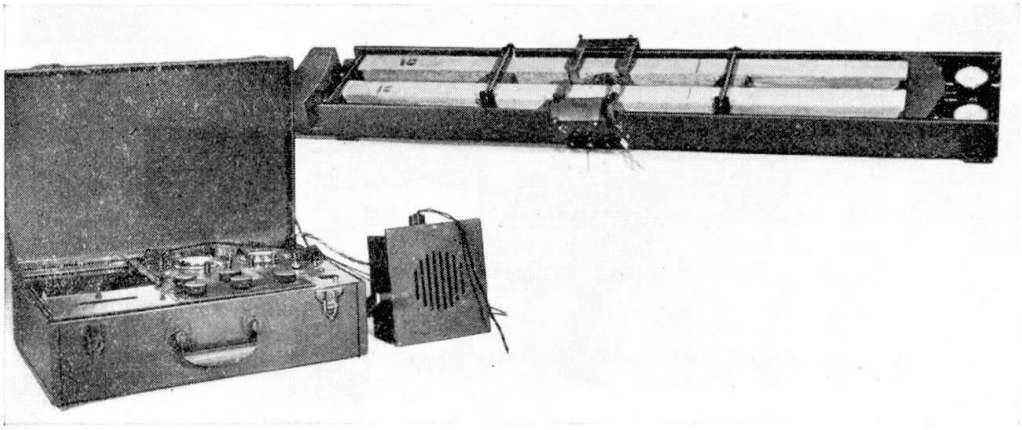

Fig. 2. Photographie d'un bâti avec l'appareil Coyne.

Programme des essais

La contrainte initiale dans les aciers a été fixée pour tous les essais aux environs de 100 kg/mm².

On a fixé le taux de précontrainte initial du béton aux valeurs suivantes:

168 kg/cm², 130, 100 et 80 kg/cm²

en faisant varier le rapport section acier sur section béton.

[1]) Pour plus amples détails sur la méthode de mesure et le calcul des contraintes voir: Annales I.T.B.T.P., Essais et Mesures, n° 3, Février 1948.

On a effectué les mises en tension à trois âges différents du béton: 7 jours et, approximativement, 3 mois et 1 an.

Caractéristiques mécaniques des aciers

Deux livraisons différentes de fils ont été utilisées lors de ces essais. Les diagrammes de traction sont reproduits sur les figures 3 et 4.

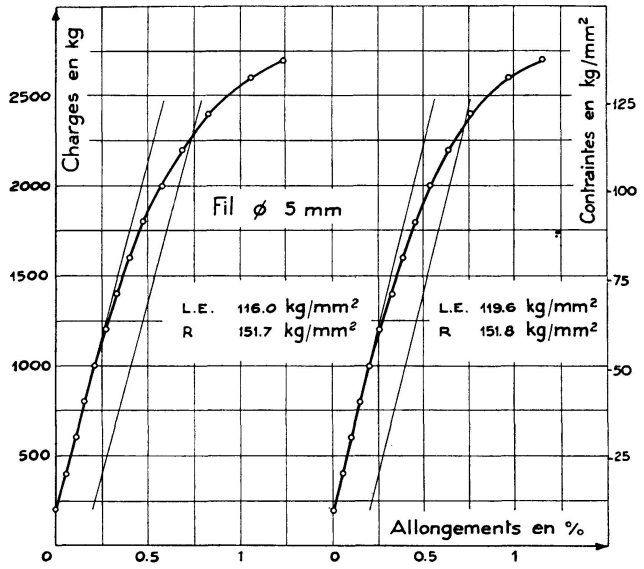

Fig. 3. Diagrammes de traction des fils d'acier ayant servi aux essais à 7 jours et 3 mois.

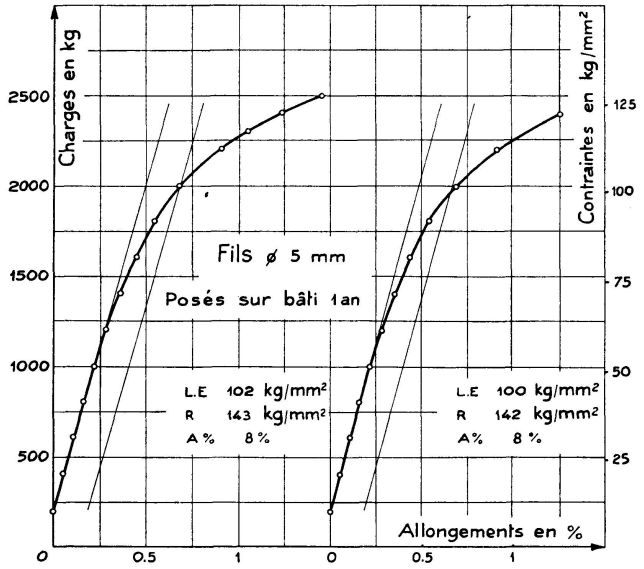

Fig. 4. Diagramme de traction de fils d'acier. Essais à 1 an.

Les caractéristiques moyennes sont:

Essais à 7 jours et 3 mois

Limite élastique à 0,2%	118 kg/mm²
Rupture	152 kg/mm²
Allongement	7%

Essais à 1 an

Limite élastique	102 kg/mm²
Rupture	143 kg/mm²
Allongement	7,5%

La précontrainte initiale 100 kg/mm² se situait donc légèrement au-dessous de la limite élastique conventionnelle.

Caractéristiques mécaniques des bétons

1. Composition

Gravillon 5—10	20 litres
Gravillon 2—5	10,8 litres
Gravillon 0,5—2. . . .	9,2 litres
Gravillon 0—0,5. . . .	6 litres
Ciment H.R.I.	16 kg
Eau	7,6 litres

2. Résistance à la compression du béton (kg/cm²)

Béton de l'essai à 1 an (moyenne de 6 cubes de 5 cm)

Age	37 j.	316 j.	393 j.
Résistance à la compression	442	388	490

Béton de l'essai à 3 mois

Age	35 j.	95 j.	314 j.
Résistance à la compression	465	441	435

Béton de l'essai à 7 jours

Age	7 j.	14 j.	28 j.	296 j.
Résistance à la compression	397	446	432	467

3. *Module d'élasticité dynamique* (kg/cm²)

Béton de l'essai à 1 an

Age	7 j.	38 j.	48 j.	52 j.	73 j.	111 j.
Elasticité dynamique	362.000	370.000	365.700	367.000	368.000	365.000
Age		135 j.	150 j.	176 j.	305 j.	419 j.
Elasticité dynamique		367.000	367.000	368.000	366.000	361.000

Béton de l'essai à 3 mois

Age	7 j.	36 j.	46 j.	109 j.	154 j.	174 j.	302 j.
Elasticité dynamique	361.000	370.000	363.000	361.500	363.500	362.200	363.000

Béton de l'essai à 7 jours

Age	7 j.	14 j.	17 j.	28 j.	32 j.
Elasticité dynamique	384.000	388.000	389.000	391.000	388.000
Age	53 j.	91 j.	136 j.	156 j.	275 j.
Elasticité dynamique	385.000	387.000	388.000	386.000	380.000

4. *Retrait*

Les mesures de retrait faites sur des éprouvettes prélevées dans les trois gâchées sont reportées sur la figure 5.

Résultats des essais

Les figures 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 donnent les résultats de l'ensemble des mesures sur les fils. En ordonnées les chutes de contraintes exprimées en kg/mm², en abscisses le temps, en coordonnées logarithmiques (temps 0 à la mise en charge). Ce mode de représentation a été choisi car il permet d'obtenir des courbes ne variant pas brusquement. La représentation normale donnant des courbes où les premières mesures sont illisibles (fig. 8). Les bâtis d'essais ont été conservés dans les sous-sols des laboratoires à l'abri de trop fortes variations de température et d'hygrométrie.

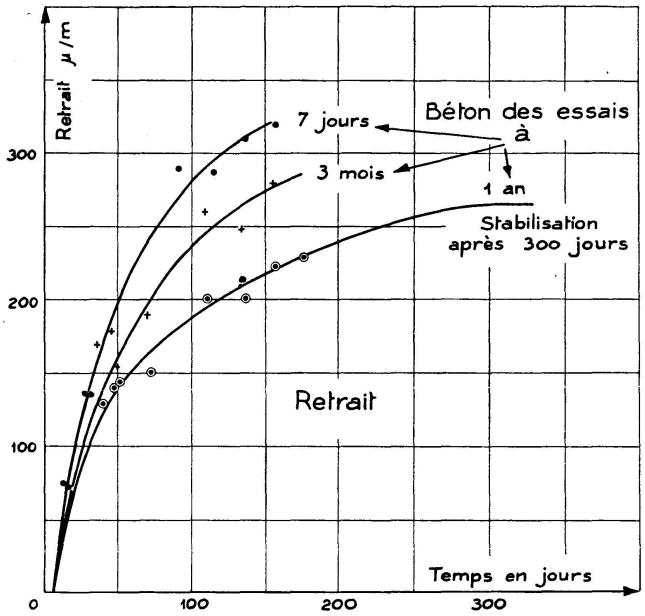

Fig. 5. Diagrammes de retrait.

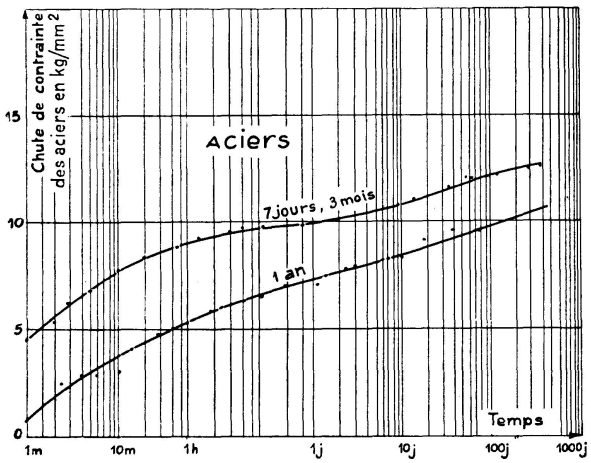

Fig. 6. Diagramme de relaxation Acier-Béton. Contrainte initiale des aciers 100 kg/mm². Coordonnées semi-logarithmiques.

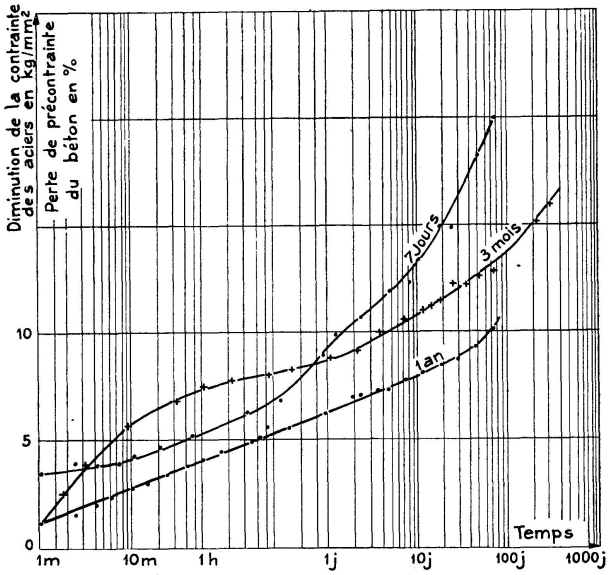

Fig. 7. Diagramme de relaxation Acier-Béton. Contrainte initiale des aciers 100 kg/mm². Contrainte initiale du béton 80 kg/cm². Coordonnées semi-logarithmiques.

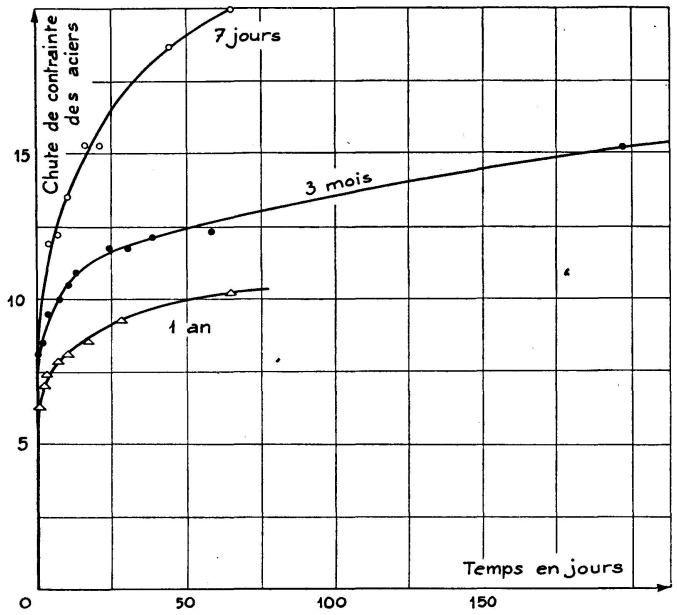

Fig. 8. Diagramme de relaxation Acier-Béton. Contrainte initiale des aciers 100 kg/mm². Contrainte initiale du béton 80 kg/cm². Coordonnées linéaires.

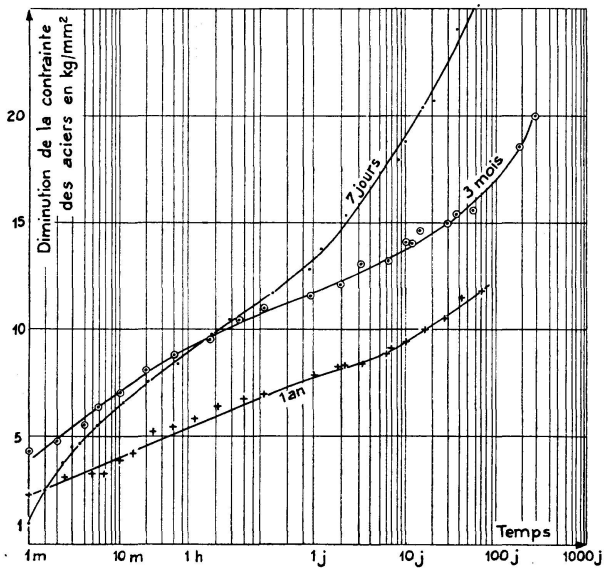

Fig. 9. Diagramme de relaxation Acier-Béton. Contrainte initiale des aciers 100 kg/mm². Contrainte initiale du béton 100 kg/cm². Coordonnées semi-logarithmiques.

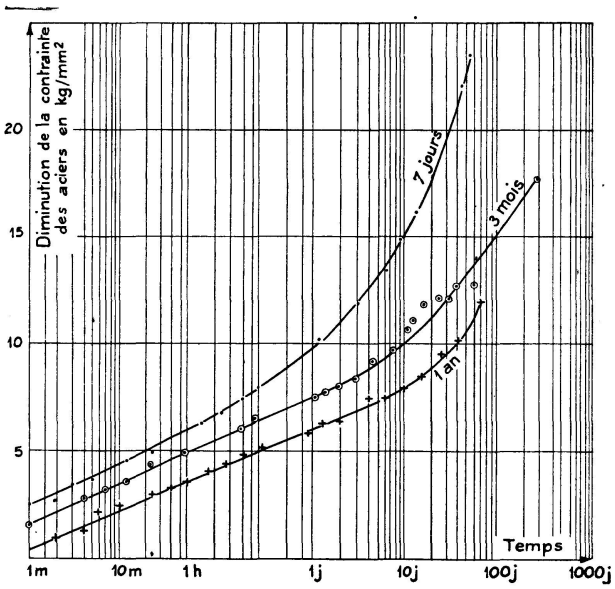

Fig. 10. Diagramme de relaxation Acier-Béton. Contrainte initiale des aciers 100 kg/mm². Contrainte initiale du béton 130 kg/cm². Coordonnées semi-logarithmiques.

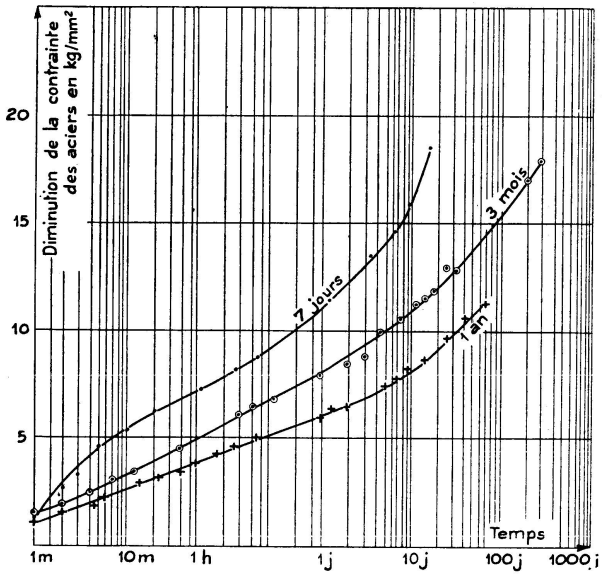

Fig. 11. Diagramme de relaxation Acier-Béton. Contrainte initiale des aciers 100 kg/mm². Contrainte initiale du béton 168 kg/cm². Coordonnées semi-logarithmiques.

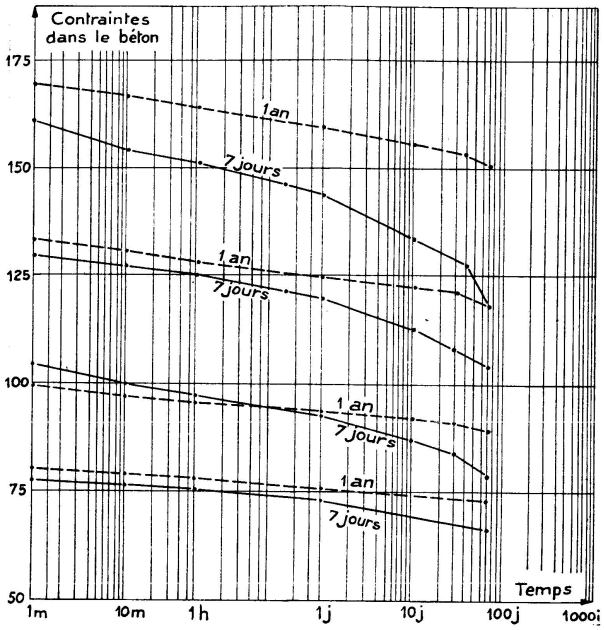

Fig. 12. Ensemble des diagrammes contrainte-temps (coordonnées logarithmiques) essais à 7 jours et 1 an.

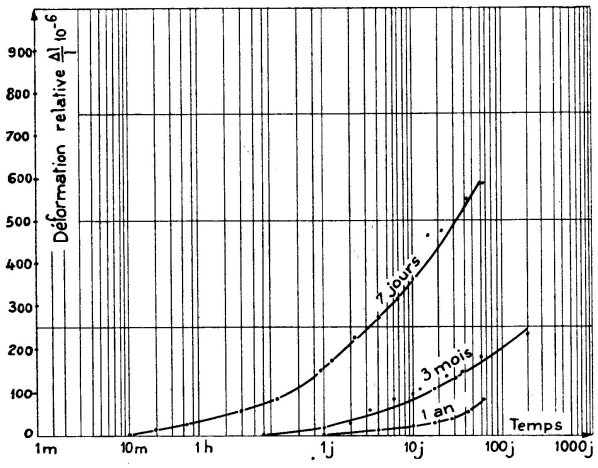

Fig. 13. Déformations du béton en fonction du temps. Coordonnées logarithmiques. Contrainte initiale du béton 80 kg/cm².

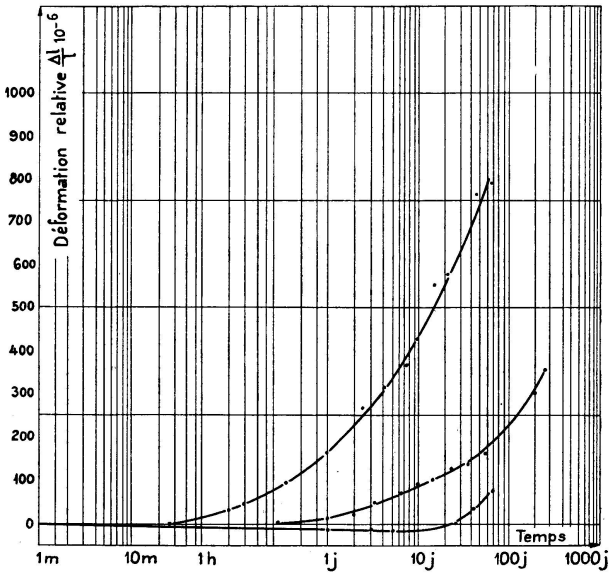

Fig. 14. Déformation du béton en fonction du temps. Coordonnées logarithmiques. Contrainte initiale du béton 100 kg/cm².

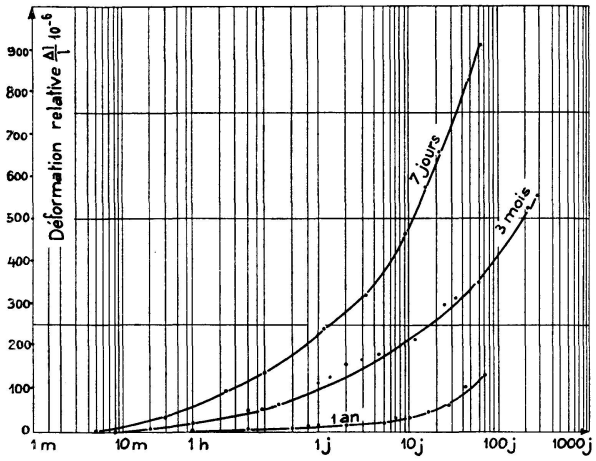

Fig. 15. Déformation du béton en fonction du temps. Coordonnées logarithmiques. Contrainte initiale du béton 130 kg/cm².

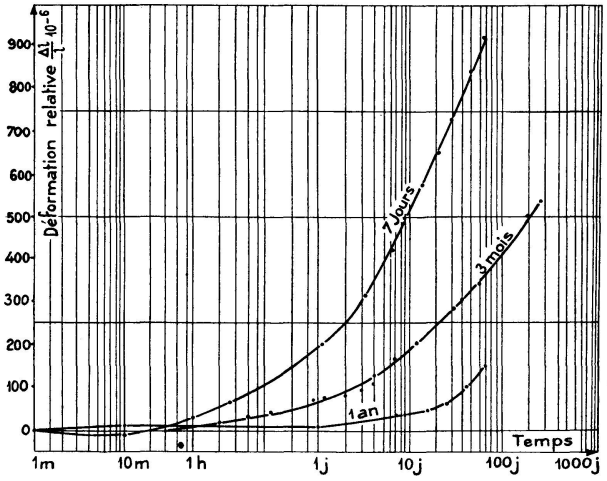

Fig. 16. Déformation du béton en fonction du temps. Coordonnées logarithmiques. Contrainte initiale du béton 168 kg/cm².

Les figures 13, 14, 15, 16 donnent les déformations du béton mesurées directement sur les bâtis.

Analyse des résultats

On analysera successivement les trois causes de la perte de précontrainte.

1. Relaxation des aciers

Ce phénomène est prépondérant pendant les premiers jours de mise en charge. Sur les échantillons d'acier étudiés la relaxation, au cours du 1er jour, est 2 à 4 fois la relaxation obtenue pendant les 300 jours suivants.

Cette relaxation peut être en partie réduite par deux moyens:

a) Par l'utilisation de fil de qualité et, à ce sujet, une remarque s'impose. Les aciers doivent être livrés en bobines telles que le fil n'ait subi aucune déformation plastique de flexion, c'est-à-dire qu'il soit droit après déroulement de la bobine. Ces aciers présentent une limite élastique plus nette et des relaxations plus réduites.

Ce phénomène peut être expliqué grâce à l'effet Baushinger. En effet, nous savons qu'une fois dépassé la limite élastique d'un acier dans une direction (traction par exemple), la limite élastique et la forme du diagramme de compression sont changés (fig. 17), des déformations non proportionnelles apparaissant dès les faibles charges.

Pour enrouler les fils en bobine de faible diamètre le fil subit des déformations plastiques de flexion importantes, par suite, une zone du fil est écrouie en traction, une autre en compression. La zone écrouie en compression n'aura

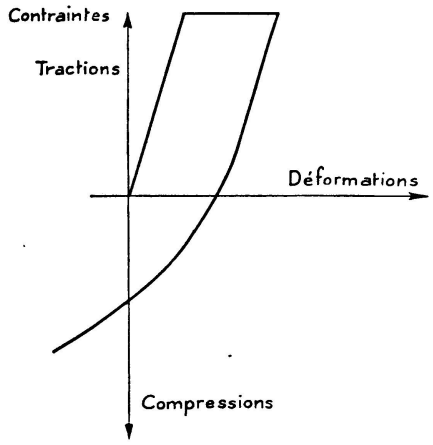

Fig. 17. Effet Baushinger.

plus un comportement élastique, même pour les faibles charges; ce qui explique le comportement des fils lors d'un essai de traction ou d'un essai de relaxation.

b) En rétablissant au fur et à mesure de la relaxation la contrainte initiale pendant les premières heures ou les premiers jours, on arrive, dans certains cas, à réduire la relaxation des aciers de 30%.

2. *Retrait du béton*

Le retrait du béton est variable suivant la composition et la conservation. Une littérature abondante traite de ce sujet.

Il représente une part importante de la relaxation dans les essais où le béton est mis en charge à 7 jours. Il est négligeable pour le béton chargé à 1 an.

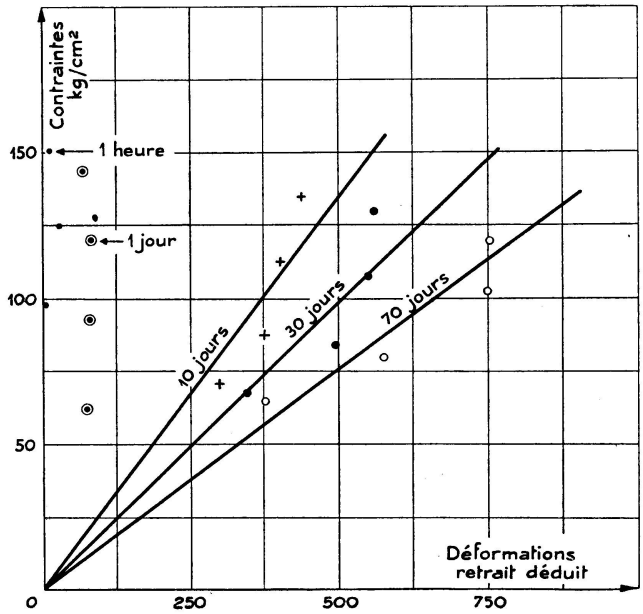

Fig. 18. Diagrammes contraintes-déformations.
Age de mise en charge du béton 7 jours(retrait déduit).

3. *Déformations lentes du béton*

Les déformations totales diminuées du retrait sont approximativement proportionnelles aux contraintes pour un temps de chargement déterminé. Cette loi se vérifie assez mal pour les bétons chargés à 7 jours (fig. 18, 19, 20).

Cependant, l'ordre de grandeur des déformations trouvées est le même que celui obtenu dans les essais exécutés antérieurement au laboratoire[2]).

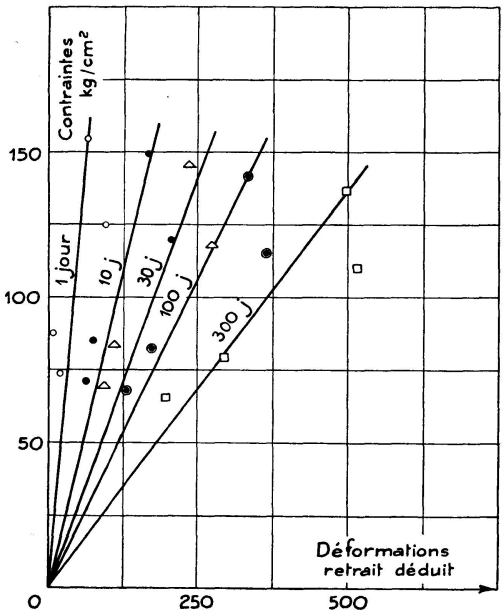

Fig. 19. Diagrammes contraintes-déformations. Age de mise en charge du béton 3 mois (retrait déduit).

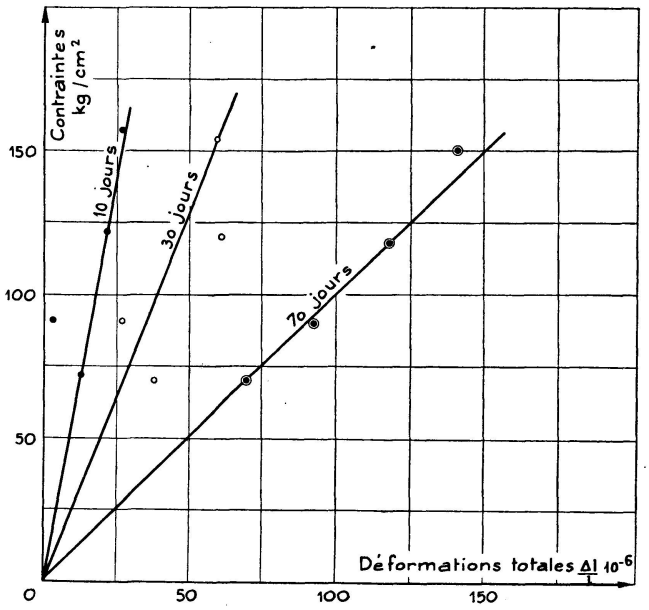

Fig. 20. Diagrammes contraintes-déformations. Age de mise en charge du béton 1 an.

L'examen des courbes de déformation donne de très utiles indications sur les méthodes permettant de réduire les pertes de précontrainte dues aux déformations du béton.

a) Utiliser un béton soigneusement étudié (compacité maximum). Les bétons donnant les retraits les plus faibles ont, en général, les déformations les plus faibles sous charges permanentes.

b) Ne pas mettre en précontrainte le béton à un âge trop jeune ou prévoir la possibilité de règler la précontrainte après plusieurs mois.

---

[2]) Recherches expérimentales sur la déformation du béton et du béton armé par M. B. Le Camus, circulaire I.T.B.T.P. On trouvera une documentation assez complète sur le sujet dans le Bulletin de la Réunion des Laboratoires d'Essais et Recherches sur les Matériaux et les Constructions, n⁰ 5, septembre 1951, page 21, sous le titre „Fluage du béton".

Importance relative des trois causes de relaxation

Quand on est en possession des courbes moyennes de relaxation des aciers, de déformation lente du béton et de retrait, il est possible de prévoir la diminution de précontrainte. Cette diminution relative de longueur du béton $\frac{\Delta l}{l}$ entraîne une diminution de contrainte dans les aciers

$$\Delta n_a = E_a \frac{\Delta l}{l}$$

Ceci n'est pas rigoureusement exact car la contrainte totale de l'acier diminuant, la relaxatiòn des aciers devrait être légèrement réduite. Cette influence cependant n'est pratiquement pas sensible, la dispersion entre les essais étant trop importante.

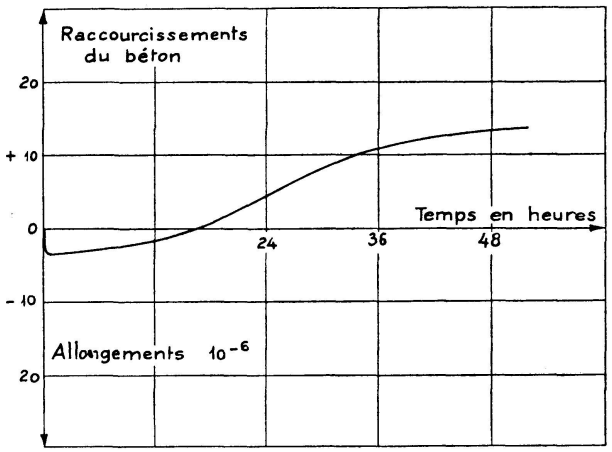

Fig. 21. Diagramme donnant les déformations du béton au cours des deux premières journées de mise en charge.

La combinaison des différentes courbes traduites en chute de contrainte des aciers permet l'établissement de diagrammes de relaxation assez semblables à ceux des figures 1 à 6.

Les phénomènes dus aux aciers ont une influence sensible sur les déformations globales du béton, puisque l'on peut remarquer au cours de la première journée des allongements mesurables du béton (fig. 21).

Les pertes de précontrainte dues au béton deviennent importantes à partir de 1 ou 2 jours, pour du béton de 7 jours d'âge, 10 à 100 jours pour le béton de 3 mois d'âge et restent très faibles pour le béton chargé à 1 an.

Conclusions

Lors de la réalisation d'une poutre en béton précontraint, le choix des contraintes respectives du béton et de l'acier a une grande influence sur la relaxation finale.

Si le béton est précontraint dans son jeune âge il faudra prévoir une majoration de la section (ou augmentation de la contrainte admissible pour les aciers) de l'ordre de 30% pour tenir compte de la relaxation, on aura intérêt à réduire la contrainte dans le béton.

Si l'on peut attendre 2 à 3 mois avant mise en tension, cette majoration pourra être réduite à des valeurs de l'ordre de 15%.

Dans tous les cas on aura le plus grand intérêt à utiliser des aciers droits donnant le minimum de relaxation et à ne pas trop tendre les aciers, leurs relaxations augmentant très rapidement avec la contrainte (fig. 22), cependant les différentes courbes ne se coupant pas (fig. 23), on pourra toujours augmenter

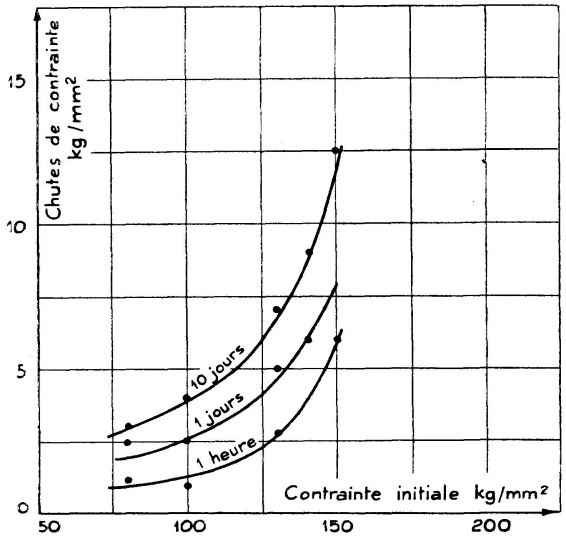

Fig. 22. Chute de contrainte en fonction de la contrainte initiale. Aciers durs ⌀ 5 tréfilés.

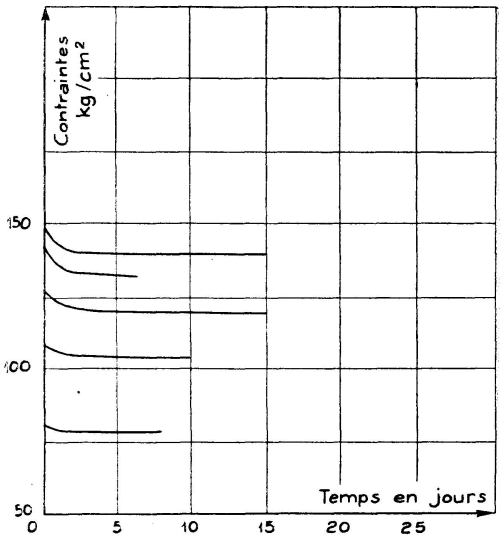

Fig. 23. Diagramme de relaxation fil ⌀ 5.

la contrainte dans les aciers avec bénéfice quant au taux final de précontrainte, mais le bénéfice diminuera quand la contrainte augmentera, la prudence recommande cependant de ne pas trop s'approcher de la rupture des aciers. Par contre, les déformations lentes du béton, pour des contraintes ne dépassant pas les $^{28}/_{100}$ de la résistance à la compression à 28 jours (domaine des présents essais) croissent à peu près proportionnellement aux contraintes, la chute de contrainte due au retrait étant invariable, on aura intérêt à utiliser les contraintes maximum admises pour le béton.

Il faut remarquer que les déformations plastiques du béton ne continuent pas indéfiniment, des essais déjà cités donnent une stabilisation des déformations vers 800 ou 900 jours. La représentation logarithmique accentuant la pente des courbes, la croissance des déformations est en réalité très lente (voir fig. 8).

Le taux de précontrainte de béton est un des éléments de la résistance d'une poutre en précontraint, mais il n'est pas le seul. La valeur du module

d'élasticité (fig. 24) et la résistance à la compression du béton augmentant en principe avec l'âge et probablement avec le temps pendant lequel la poutre est restée précontrainte, la résistance à la flexion d'une poutre ne diminue pas obligatoirement en vieillissant.

Ces essais montrent que les phénomènes de fluage et de relaxation ont une grande importance dans le comportement des poutres précontraintes.

Il était donc nécessaire, pour pouvoir en tenir compte dans les avant-projets, de vérifier leur ordre de grandeur et leur évolution dans le temps.

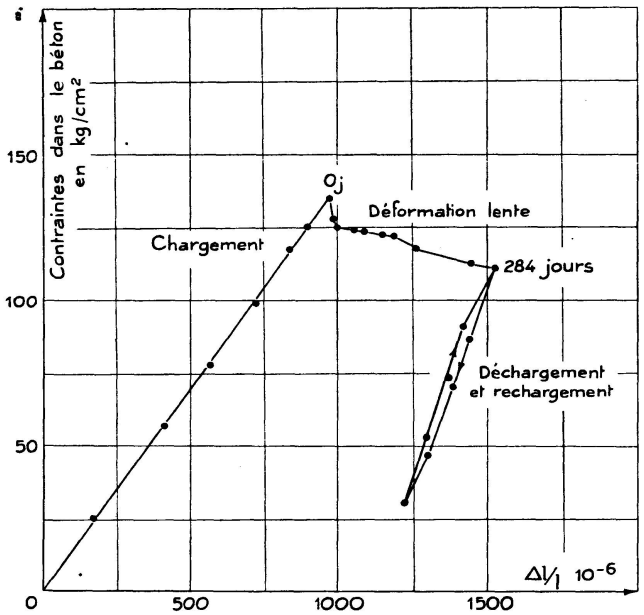

Fig. 24. Diagramme de chargement, de relaxation et de déchargement. On remarquera plus particulièrement la différence de pente des courbes de chargement et de déchargement correspondant à une augmentation du module d'élasticité (mise en charge à 3 mois).

Résumé

Le comportement des constructions en béton précontraint est directement lié à l'évolution du taux de précontrainte au cours du temps.

Les Laboratoires du Bâtiment et des Travaux Publics à Paris ont mis au point un dispositif simple permettant l'étude combinée de la relaxation des fils d'acier, du fluage et du retrait du béton tels qu'ils se produisent dans une poutre en béton précontraint.

Les résultats obtenus montrent qu'avec des aciers tréfilés et patentés ($R_t = 150$ kg/mm²) et un béton de bonne qualité ($R_c = 400$ kg/cm² à 7 jours) on a des chutes de précontrainte de 30% pour un béton chargé à 7 jours et de 10% pour le même béton chargé à 1 an, au moyen des mêmes aciers.

Il est cependant possible de réduire ces chiffres en employant des aciers et des bétons spéciaux et en utilisant un programme de mise en tension des fils judicieux.

Zusammenfassung

Das Verhalten von vorgespannten Konstruktionen ist direkt abhängig von der Entwicklung der Vorspannkräfte mit der Zeit.

Die „Laboratoires du Bâtiment et des Travaux Publics" in Paris haben eine einfache Versuchseinrichtung geschaffen, welche das Studium des gleichzeitigen Kriechens von Stahl und Beton mit dem Schwinden des Betons gestattet, in einer Art und Weise, wie sich dies in einem vorgespannten Balken abspielt.

Die Ergebnisse zeigen, daß bei der Verwendung von patentierten Stahldrähten von 150 kg/mm² Festigkeit und einem hochwertigen Beton von 400 kg/cm² Würfeldruckfestigkeit nach 7 Tagen mit Vorspannverlusten von 30% bei Anbringung der Vorspannung nach 7 Tagen und von 10% bei Vorspannung nach 1 Jahr gerechnet werden muß.

Es ist immerhin möglich, diese Zahlen durch Verwendung von speziellen Stählen und Beton herabzusetzen, wie auch durch Anwendung eines geschickten Programms beim Anspannen der Drähte.

Summary

The behaviour of pre-stressed constructions depends directly on the development of the pre-stressing forces in the course of time.

The "Laboratoires du Bâtiment et des Travaux Publics", Paris, have acquired a simple testing device which allows the simultaneous creep of steel and concrete, with shrinkage of the concrete, to be examined in such a way as occurs in pre-stressed girders.

The results show that when adopting patented steel wires with a tensile strength of 150 kg/mm² and a high-grade concrete with a cube strength of 400 kg/cm², it is necessary to reckon with pre-stressing losses of 30% after 7 days (when the pre-stressing has been applied after 7 days) and with 10% with pre-stressing after one year.

It is nevertheless possible that these figures may be reduced by using special steels and concrete, and also by adopting a strict program when tightening the wires.

Leere Seite
Blank page
Page vide