

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 99/100 (1932)
Heft: 6

Artikel: Quelques propriétés du ciment et du béton: dilation, retrait, élasticité
Autor: Juillard, H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-45537>

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: 13.01.2026

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

INHALT: Quelques propriétés du ciment et du béton: Dilatation, retrait, élasticité. — Versuche mit autogen und elektrisch geschweißten Stäben. — Wettbewerb für den Neubau des Kollegienhauses der Universität Basel. — Mitteilungen: Eidgenössische Technische Hochschule. Kompressoren aus säurebeständigem Material. Moderne elektrische Bogenlampen. Entwicklung des Schienenomnibusses. Eine schiefe Klappbrücke. Die Hedwigskirche in Berlin. — Nekrologe: Ernst Hofer. — Wettbewerbe: Erweiterungsbau des Gemeindekrankenhauses in Wattwil. — Literatur. — Quaiüberbrücke Zürich. — Mitteilungen der Vereine.

rial. Moderne elektrische Bogenlampen. Entwicklung des Schienenomnibusses. Eine schiefe Klappbrücke. Die Hedwigskirche in Berlin. — Nekrologe: Ernst Hofer. — Wettbewerbe: Erweiterungsbau des Gemeindekrankenhauses in Wattwil. — Literatur. — Quaiüberbrücke Zürich. — Mitteilungen der Vereine.

Band 100

Der S. I. A. ist für den Inhalt des redaktionellen Teils seiner Vereinsorgane nicht verantwortlich. Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet.

Nr. 6

Quelques propriétés du ciment et du béton: Dilatation, retrait, élasticité.

Par H. JUILARD, ingénieur-adjoint au directeur des „Kraftwerke Oberhasli A.-G.“, Innertkirchen.

(Fin de la page 36.)

III. ÉLASTICITÉ DU BÉTON.

La connaissance des propriétés élastiques du béton est d'importance fondamentale pour l'élaboration de tous les projets de constructions hyperstatiques ou de celles dans lesquelles le béton est combiné avec d'autres éléments, comme dans le béton armé. L'évaluation du nombre n représentant le rapport du coefficient d'élasticité de l'acier à celui du béton a donné lieu, dans la plupart des pays, à de longues discussions. En général la tendance moderne est de choisir pour n un nombre plus faible que la valeur admise autrefois.

Les bétons tassés et soigneusement composés que l'on est capable de fabriquer aujourd'hui, possèdent un coefficient d'élasticité E relativement élevé, qui peut atteindre 300 000 kg/cm² ou même davantage lorsque les mesures sont effectuées pendant une courte durée. Si, au contraire, on laisse agir la pression pendant quelque temps, une heure par exemple, on remarque déjà que la déformation sur laquelle se base la détermination du coefficient d'élasticité augmente, c'est-à-dire que ce coefficient diminue apparemment. On arrive au même résultat en répétant plusieurs fois de suite l'essai rapide tel qu'on l'effectue ordinairement; on constate alors pour chaque répétition un accroissement non élastique de la déformation initiale.

Les laboratoires d'essais des matériaux ne tiennent en général pas compte de ces anomalies, et déterminent le coefficient d'élasticité comme étant la tangente de la courbe des déformations en fonction des efforts spécifiques.

Quelques ingénieurs ont étudié de plus près la déformation du béton sous une charge permanente. Les recherches les plus connues sont celles du constructeur français Freyssinet. A ma connaissance ces différentes études n'ont pas porté sur le béton simple, mais sur le béton renforcé par des armatures de fer, et il est difficile d'en déduire des conclusions précises sur les propriétés élémentaires du béton.

Les essais effectués à Innertkirchen ont eu au contraire pour objet de déterminer directement les propriétés élastiques du béton sous des charges agissant pendant une longue durée. Les observations faites sont les suivantes:

a) Poutres de béton non armées sollicitées à la flexion.

Les poutres étudiées reposant sur deux appuis, l'un fixe et l'autre mobile, distants de 1,20 m, sont soumises entre ceux-ci à un moment de flexion constant (fig. 9). La ligne élastique est un arc de cercle. Après avoir, au début, mesuré la déformation de plusieurs points, les observations ont été ensuite réduites à enregistrer la variation de la flèche du milieu de la poutre, par rapport aux appuis. Le béton des poutres étudiées était dosé à 200 kg/m³ et présentait, lors de la fabrication, une consistance plastique. La déformation observée dès la mise en charge correspond à un coefficient d'élasticité du béton d'environ 200 000 kg/cm². Cependant dès le début la flèche augmente constamment. Si, en règle générale, le mouvement se ralentit progressivement, il est néanmoins possible de constater nettement une accélération lorsque l'atmosphère est sèche et un ralentissement lorsqu'elle est humide. L'augmentation de la flèche est donc influencée par les mêmes facteurs que le retrait. Mais, sous l'influence du retrait ordinaire, la poutre se raccourcirait sans modifier sa flèche, ce qui n'est pas le cas. Le retrait subi par les éléments de la poutre doit donc dépendre de leur sollicitation. Pour tenir compte de cette éventualité, deux poutres de fabri-

cation et de sollicitation identiques avaient été d'emblée soumises aux essais: l'une exposée à l'air, l'autre immergée complètement dans l'eau. La flèche de la poutre immergée augmente aussi avec le temps, mais moins rapidement que celle de la poutre conservée dans l'air et sa valeur reste plus faible. La courbe de déformation en fonction du temps présente toutefois aussi des irrégularités. Les périodes pendant lesquelles le mouvement est accéléré correspondent à une température plus élevée. Cette observation peut être rapprochée de celle faite au sujet de la dilatation thermique du ciment. Il a été remarqué alors que l'allongement du béton sous l'eau est plus rapide lorsque la température augmente. Ceci est un indice que l'augmentation de la flèche doit provenir, du moins en partie, d'un gonflement du liant, accru dans la zone soumise à la traction. Au contraire, l'accroissement de la flèche de la poutre exposée à l'air était dû à l'augmentation du retrait dans la zone comprimée du béton. L'essai de poutres à la flexion ne peut donc fournir de renseignements plus précis sur les relations existant entre la sollicitation, l'élasticité et le retrait, ceux-ci ont été demandés à l'essai de poutres travaillant à la compression ou à la traction simple. L'essai à la flexion, simple à exécuter, met toutefois bien en évidence l'existence d'une relation entre le retrait et la charge et se prête particulièrement pour établir des comparaisons entre divers traitements; nous y reviendrons au paragraphe *e* en traitant l'influence d'une variation des sollicitations.

b) Poutres de béton non armées sollicitées à la compression ou à la traction simple.

Pour déterminer l'influence de la sollicitation axiale on a confectionné des poutres de 2 m de longueur avec le même béton à 200 kg de ciment par m³ que celui adopté pour les poutres soumises à la flexion. Les poutres étaient conservées environ pendant un mois dans l'eau et étaient ensuite directement soumises aux essais avant qu'elles puissent subir le retrait. La mise sous charge a été réalisée au moyen d'un levier soumettant une poutre à la traction, l'autre à la compression. Deux séries parallèles de poutres ont été chargées suivant un programme différent; les unes ont été soumises directement à la charge maximum, produisant des efforts de 8,3 kg/cm² à la traction et 30 kg/cm² à la compression (sections 120 resp. 36 cm²), tandis que les autres ont été chargées progressivement (fig. 7). Dès le début on observe que la déformation des poutres comprimées augmente beaucoup plus rapidement que celles des poutres tirées. Bien plus, au bout de quelques jours ces dernières se rétractent malgré la sollicitation à la traction! On constate que la déformation est déterminée, en première ligne, par l'humidité de l'air ambiant. Les poutres comprimées supportant au début une charge spécifique plus élevée présentent une déformation plus rapide que celles qui sont moins chargées. Mais le retrait final sous la charge totale est le même si on attend suffisamment longtemps. Les poutres sollicitées à la traction présentent une déformation beaucoup plus régulière, dont la valeur n'atteint que le quart de celle des poutres soumises à la compression. Une poutre témoin non chargée subit un retrait intermédiaire entre les valeurs mesurées pour la compression et la traction. Lors d'un état d'équilibre provisoire, qui s'est établi pour un degré d'humidité relative de 60 à 70 %, l'effet de la sollicitation avait maintenu le retrait de la poutre tendue à

environ 0,25 ‰ tandis que la contraction de la poutre non chargée était de 0,50 ‰ et celle de la poutre comprimée 0,95 ‰. On a alors considéré, à tort, le phénomène comme terminé et déchargé les poutres pour observer dans quelle mesure les déformations enregistrées depuis le début de l'essai étaient élastiques. Après le déchargement coïncidant avec le début d'une période plus humide, on a pu constater un faible allongement de la poutre comprimée. Mais dès que l'atmosphère redevint plus sèche on eut la surprise de voir que le retrait reprenait et dépassait la valeur observée sous la charge si l'on déduit de celle-ci la déformation élastique (fig. 7).

Le retrait du béton sollicité à la compression est donc notablement plus important que celui du béton non chargé tandis que celui du béton soumis à la traction est réduit. Le phénomène de la poutre de béton soumise à flexion dont la flèche augmente avec le temps au de là de toute prévision, s'explique maintenant naturellement.

c) *Éprouvettes de 40/40/160 mm de ciment et béton, sollicitées à la compression.*

Un complément des essais effectués au moyen de poutres de 2 m de longueur pour déterminer l'influence de la charge sur la déformation semblait nécessaire pour éclaircir deux points : l'influence du dosage du béton et celle de la conservation dans l'eau pendant un mois au minimum jusqu'à la mise sous charge. Les grandes dimensions des poutres empêchaient de faire des essais en séries parce que chaque pièce nécessite l'immobilisation de 1 ou 2 comparateurs au 100^{me} de millimètre et d'autres installations coûteuses et encombrantes ; elles ne se prêtaient pas non plus à l'essai du ciment pur.

Pour éviter ces inconvénients on adopta la méthode employée pour mesurer le retrait du ciment et du béton dans des atmosphères d'humidité relative déterminée, au moyen de prismes de 40 × 40 × 160 mm de longueur. Cette installation n'était, toutefois, pas prévue pour maintenir l'humidité constante, les éprouvettes étaient exposées aux variations d'humidité de l'atmosphère du laboratoire qui sont notées chaque jour.

La longueur des éprouvettes a été observée dès le second jour après leur fabrication. La mise sous pression eut lieu 6 jours plus tard. A ce moment on n'a pas constaté un accroissement subit de la déformation comme ce fut le cas pour les poutres décrites dans le paragraphe précédent. Cette différence provient de ce que les grosses poutres conservées sous l'eau jusqu'au moment où elles étaient chargées, devaient présenter pendant les premiers jours une évaporation particulièrement intense. Au contraire, les petits prismes contenaient moins d'eau, puisqu'ils n'avaient jamais été immergés et avaient au contraire eu le temps de se dessécher et de se rétracter partiellement pendant les sept jours jugés nécessaires au durcissement, avant leur mise en charge. Au début le retrait ne semblait donc pas s'effectuer autrement que celui des éprouvettes non chargées. Mais, tandis qu'au bout de quelques semaines le mouvement de celles-ci se stabilisait, il continuait pour les pièces chargées. Enfin, lorsque par suite du chauffage du local en hiver, le degré hygrométrique de l'atmosphère s'abaisse, la contraction des éprouvettes âgées de six mois s'accroît et elle atteint des valeurs qui concordent parfaitement avec celles obtenues pour les grandes poutres plus âgées.

Les essais ont été effectués en deux séries différant par la pression spécifique des éprouvettes de 10 et 20 kg/cm². On remarque que le retrait est plus prononcé pour la plus forte pression, cependant l'augmentation est loin d'être proportionnelle à la charge. Les bétons de 200 à 600 kg de ciment par m³ présentent un retrait qui ne varie pas systématiquement avec le dosage et qui a atteint pour une humidité relative moyenne de 40 ‰ des valeurs comprises entre 0,8 et 1,2 ‰. Nous avons déjà pu constater que le

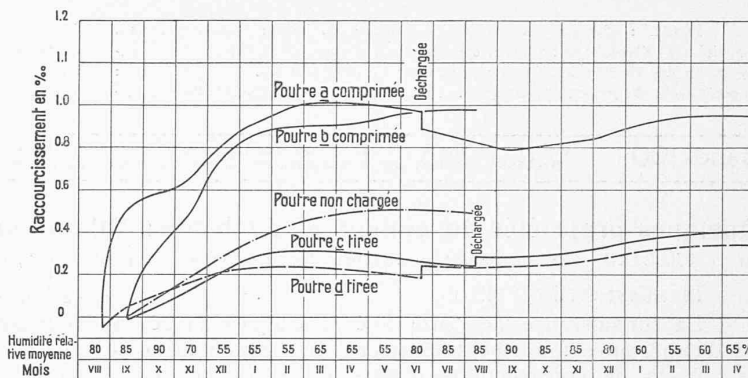


Fig. 7. Déformation de poutres de béton à 200 kg de ciment par m³, sollicitées axialement par une charge permanente. Avant leur mise sous charge les poutres ont été conservées dans l'eau. La poutre a a été sollicitée à la compression dès le début à 30 kg/cm² et la poutre d à la traction à 8 kg/cm². Les poutres b et c ont été soumises progressivement aux mêmes charges. Après 10 respectivement 11 mois les poutres ont été déchargées et une partie soumise à la flexion.

retrait du béton non chargé ne variait pas avec le dosage tant qu'il n'y a pas excès de ciment. Le béton de 800 kg/m³ présente un retrait plus important qui atteint 1,4 à 1,6 ‰. Le ciment en pâte pure enfin atteint un retrait de 4 à 5 ‰. Sur toute la ligne, on enregistre donc un retrait beaucoup plus important sous la charge que pour les pièces non chargées. La différence est en réalité encore plus grande qu'elle ne ressort des chiffres donnés puisque le degré d'humidité auquel étaient soumises les éprouvettes chargées était supérieur à celui de l'atmosphère dans laquelle les éprouvettes libres étaient placées (cfr. fig. 4).

d) *Poutres armées sollicitées à la compression ou à la traction simple.*

On a pu conclure des résultats obtenus jusqu'à maintenant que le retrait des poutres sollicitées axialement dépendait du sens de cette sollicitation, mais que, dans certaines limites, le retrait variait peu avec la grandeur des fatigues. Il était intéressant de déterminer quelles valeurs minima la sollicitation doit atteindre pour que le retrait en soit influencé. On pouvait arriver à ce résultat en répétant les essais de retrait sous différentes charges plus faibles que celles appliquées lors des premiers essais. Une installation plus simple, permettant d'arriver au même but, consiste à disposer une armature d'acier placée dans l'axe d'une poutre de béton et d'utiliser la réaction élastique de l'armature comme force s'opposant au retrait du béton. L'état d'équilibre qui s'établit permet de déterminer l'influence de la traction sur le retrait.

Pour déterminer l'influence de la compression du béton on effectua un essai parallèle en soumettant l'armature avant le bétonnage à un effort de traction donnant un allongement élastique de l'acier de 1 ‰. L'armature, fixée à chaque bout de la poutre à une plaque de fer n'a pu glisser dans le béton lorsque la force extérieure provoquant son extension a été supprimée, de sorte qu'à partir de ce moment elle a exercé une compression du béton (fig. 8). Les poutres ont été conservées dans l'eau pendant 4, respectivement 3 semaines avant d'être exposées à l'air. C'est à partir de ce moment que les déformations ont été mesurées et qu'on a laissé l'armature tendue agir sur le béton. Les forces agissant dans l'armature et dans le béton sont déterminées au moyen des variations de longueur de l'armature qui, à cet effet, dépasse le béton aux deux bouts de la poutre. La grandeur des contraintes entre l'armature et le béton dépend naturellement des sections relatives ; comme on voulait étudier l'influence de faibles sollicitations du béton on a choisi un pourcent de fer minime, 0,65 ‰ de l'aire de la section du béton.

Les poutres observées depuis le début d'avril 1931 ont été soumises pendant tout l'été à un degré d'humidité relative variant la plupart du temps entre 80 et 90 ‰. Malgré cette très forte humidité, on a pu constater d'importantes déformations qui ne se sont pas encore stabilisées

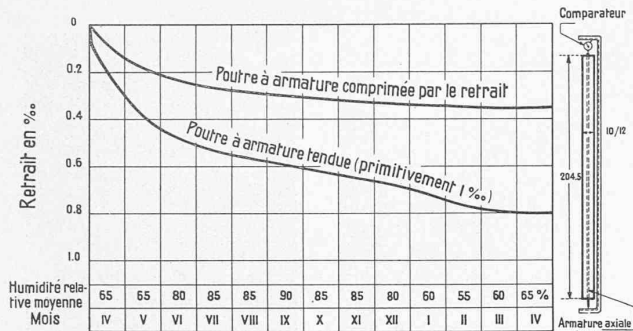


Fig. 8. Retrait de poutres de béton à 200 kg de ciment par m³ avec armature axiale. Dans l'une des poutres l'armature était libre lors du bétonnage, dans l'autre au contraire l'armature avait subi une extension de 1‰.

à l'heure actuelle et reprendront certainement lorsque le degré hygrométrique s'abaissera de nouveau. Ainsi qu'on pouvait le prévoir, la poutre dont l'armature se trouve comprimée et le béton tiré présente une déformation moindre. Celle-ci atteint environ 0,4 ‰, ce qui correspond dans le fer à un effort de compression de 850 kg/cm², et dans le béton à une tension spécifique de 5,5 kg/cm².

Nous avons vu précédemment que sous une traction de 8,3 kg/cm² le retrait n'était que de 0,25 ‰. Il semble donc que pour la traction la déformation diminue directement avec la grandeur de l'effort, ce qui est explicable puisque les efforts de traction sont surtout transmis par les parties actives du ciment, tandis qu'il en est tout autrement pour la compression.

La poutre dont l'armature est sollicitée à la traction a présenté lors du déchargement de l'armature un retrait de 0,08 ‰. L'effort restant dans l'armature était de 1970 kg/cm², et la sollicitation du béton à la compression de 12,9 kg/cm². Le coefficient d'élasticité de béton atteignait 160 000 kg/cm². Cette valeur est la même que celle observée lors de la mise en charge des autres poutres. Dès le premier jour le béton s'est rétracté rapidement sous l'effort de compression bien que celui-ci diminue constamment. La déformation totale depuis la mise en charge est actuellement de 0,8 ‰; l'extension primitive de l'armature se réduit donc à 0,2 ‰ correspondant à 430 kg/cm² et la compression du béton à 2,8 kg/cm². La contraction de 0,8 ‰ atteint les valeurs inférieures observées sous un effort de compression de 10 kg/cm². Il se confirme que même de faibles efforts de compression suffisent pour provoquer une augmentation notable du retrait.

Les observations effectuées sur les poutres avec armature offrent un intérêt spécial au point de vue de la théorie du béton armé. Il est incontestable que des pièces de béton armé, non chargées, sont néanmoins soumises à des contraintes internes provoquées par la résistance de l'armature au retrait du béton. Un examen approfondi de cette question conduit, néanmoins, à admettre que ces circonstances ne jouent pas un grand rôle pour les poutres simples soumises à la flexion; il se produira naturellement une augmentation des efforts de traction dans le béton au voisinage de l'armature et un affaiblissement de cette zone, ce qui est sans importance puisqu'on ne tient pas compte de la résistance à la traction du béton tandis que les efforts de compression dans le béton, et de traction dans l'acier correspondront aux valeurs calculées avec la méthode ordinaire. Par contre les pièces de béton qui présentent une armature importante dans la zone de béton sollicitée à la compression, comme par exemple les poutres continues ou surtout les colonnes, doivent travailler dans des conditions qui diffèrent d'une manière appréciable de celles que suppose le calcul habituel. La méthode de calcul ordinaire, basée sur l'introduction du nombre n , rapport du coefficient de l'élasticité de l'acier à celui du fer, donne enfin des résultats faux, lors de l'évaluation des déformations pour le calcul des constructions hyperstatiques.

Pour fixer les idées, examinons encore rapidement

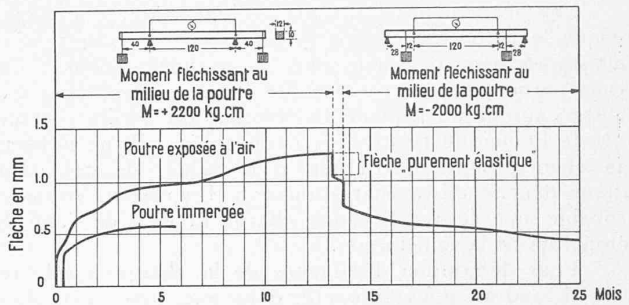


Fig. 9. Variation de la flèche d'une poutre sollicitée à la flexion en fonction du temps. Le moment de flexion indiqué comprend l'influence du poids propre; la flexion moyenne déterminant la flèche sur la longueur observée de 120 cm a été d'environ 2300 kg·cm pendant la première période de charge et 1900 kg·cm pendant la seconde.

comment se comportera, sous la charge, une pièce de béton armé, une colonne par exemple. Nous avons constaté plus haut qu'à la déformation due à la variation de l'effort de l'armature primitivement tendue, de 2150 à 430 kg/cm², c'est-à-dire de 1720 kg/cm², correspondait un raccourcissement dû en majeure partie à la contraction et en outre à la déformation élastique du béton sous une compression de 2,8 kg/cm². Les déformations se produiraient d'une manière identique si, au lieu de donner une tension initiale à l'armature, une force extérieure avait été exercée sur la poutre. La compression dans le béton ne serait alors que de quelques kilogrammes par cm² seulement cependant qu'elle atteindrait déjà 1700 kg/cm² dans l'armature. En augmentant la charge, la déformation s'approcherait de la limite du retrait et le béton supporterait une part plus grande de la pression extérieure. La limite de l'élasticité de l'armature à la compression sera cependant bientôt atteinte alors que le béton ne subira qu'une sollicitation réduite, de 20 kg/cm² par exemple. C'est à ce moment que les frettes deviennent efficaces, non en opérant un serrage latéral du béton et le rendant capable de supporter une compression plus élevée, mais en empêchant d'abord la destruction par flambage des armatures. Dès que la déformation de l'acier atteint la limite de plasticité, toute augmentation de la charge est supportée par le béton, de sorte, qu'en définitive, la colonne pourra présenter la résistance „théorique“; la différence entre le calcul et la réalité n'en reste pas moins fondamentale.

e) Influence d'une variation des sollicitations.

Nous avons, jusqu'à présent, principalement traité de l'influence d'une charge permanente sur la déformation élastique et le retrait du béton, sans tenir compte de la double influence des variations de la charge et du degré hygrométrique. Il a été établi que l'âge du béton non chargé n'influe pas sur la grandeur du retrait final. En outre, il a été constaté que les éprouvettes non chargées, desséchées, et ayant subi le retrait, se dilatent de nouveau lorsqu'elles sont placées dans une atmosphère plus humide. Ces résultats établis pour de petits corps placés dans une atmosphère d'humidité constante, constamment renouvelée, ne ressortent pas si nettement des observations faites sur des poutres de plus grandes dimensions conservées dans le laboratoire. Celles-ci ont besoin de plus d'une année pour que la dessiccation s'effectue complètement, car, au cours des saisons, l'état hygroscopique de l'air ne se maintient pas suffisamment longtemps à des valeurs extrêmes pour influencer complètement le retrait. Tant que le degré hygrométrique s'abaisse, les poutres se rétractent, quand il s'élève de nouveau le mouvement peut changer de sens si le retrait était déjà suffisamment prononcé par rapport au nouveau degré d'humidité. Mais, en général, ces conditions ne se maintiendront pas assez longtemps pour que la reprise soit nette. Au contraire, lorsque le degré d'humidité relative s'abaisse à nouveau, le mouvement de retrait reprend. L'état d'équilibre relatif, caractérisé par de petites fluctuations autour d'une valeur moyenne constante, n'est donc que très lentement atteint.

Les phénomènes s'effectuent d'une manière analogue lorsque le béton est chargé. Toutefois, le retrait s'opère plus rapidement et atteint de plus grandes valeurs. Les essais permettent de constater qu'il existe une limite d'équilibre autour de laquelle la déformation oscille en fonction de l'humidité relative de l'atmosphère. Ils ne suffisent pas encore pour déterminer si la valeur de ces oscillations dépend de la charge ou non. Il apparaît, en outre, probable que le retrait sous charge dépend de l'âge du béton lors de la sollicitation.

Pour déterminer l'influence de la charge sur le retrait, il faudrait pouvoir opérer dans une atmosphère dont l'humidité peut être réglée à volonté. Deux facteurs, la charge et l'humidité relative étant variables, on peut envisager de nombreuses combinaisons. Pour élucider le problème il serait alors nécessaire d'effectuer un grand nombre d'essais de longue durée. Les observations faites jusqu'à maintenant montrent le grand intérêt de ces recherches ainsi qu'il ressort des résultats suivants:

Des poutres identiques ont été sollicitées à la flexion après avoir subi un retrait linéaire plus ou moins prononcé. On constate, ainsi qu'on pouvait le prévoir, que la flèche des poutres dont la dessiccation est plus prononcée augmente plus faiblement que celle des poutres n'ayant pas subi de retrait avant leur mise en charge. Toutefois, les poutres dont le retrait linéaire était arrivé à un état d'équilibre présentent néanmoins une flèche croissant avec le temps et atteignant un multiple de la flèche élastique observée au moment de la mise en charge. Si on inverse le sens du moment de flexion, on constate un phénomène analogue à celui observé lors de la première mise en charge, mais dans le sens opposé; à la déformation purement élastique immédiate succède un accroissement lent de la flèche. Le mouvement de reprise est cependant beaucoup plus lent et ne parvient pas dans le même temps à compenser la première déformation, c'est-à-dire à redresser la poutre et, par conséquent, encore moins à l'incurver dans le sens de la nouvelle sollicitation (fig. 9).

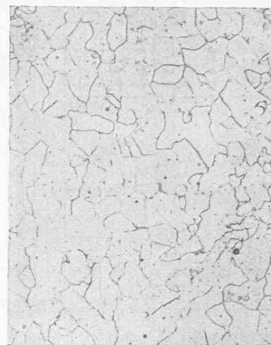
De même, les poutres sollicitées primitivement à la compression axiale ayant subi un retrait de 0,9 ‰ et soumises ensuite à un effort de flexion, présentent une flèche croissant avec le temps jusqu'au double de la valeur primitive.

Ces différentes expériences démontrent indubitablement que le retrait supplémentaire provoqué par les sollicitations mécaniques ne consiste pas uniquement en une déformation permanente, mais que la déformation est avec le temps partiellement élastique. On peut tenir compte de cette propriété en admettant que le coefficient d'élasticité du béton chargé diminue avec le temps aussi longtemps que le phénomène de retrait n'est pas terminé. Le fléchissement est considérable lors de la première mise en charge, il est beaucoup moins important pour les charges ultérieures, si on n'envisage que les déformations pour chaque variation de la charge.

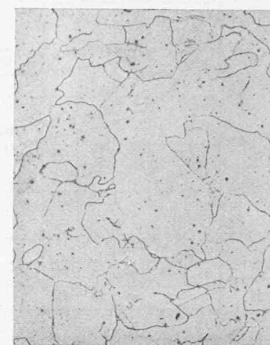
Les essais effectués ne suffisent pas pour préciser les limites dans lesquelles l'élasticité du corps, ainsi comprise, peut varier, ils montrent cependant clairement que les méthodes actuelles de calcul, surtout celles qui s'appliquent aux problèmes hyperstatiques, présentent à ce point de vue une grande lacune qu'il importe de combler. L'emploi d'un coefficient d'élasticité normal et d'une valeur de retrait unique quels que soient le mode de charge et les conditions d'humidité ne peuvent garantir une utilisation judicieuse des propriétés du béton. Au contraire, il y a lieu, pour les ouvrages dont l'importance justifie une telle complication de calculs, d'admettre une variation des propriétés élastiques de la construction pendant les premières années suivant son établissement et de tenir compte de différents coefficients d'élasticité pour les charges permanentes et les charges mobiles.

La théorie sera plus difficile à adapter à la réalité dans le cas spécial du béton armé. Il ne peut naturellement pas être question aujourd'hui de mettre en doute la

Blechkdicke 10 mm



Blechkdicke 25 mm



Oben Mikrogefuge

in 100 facher

Vergrößerung.

Unten Makrogefuge in

natürlicher Grösse.

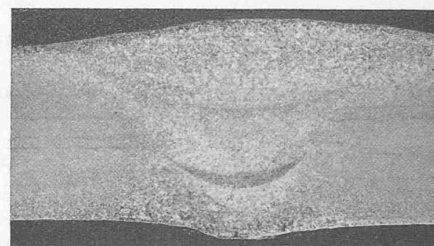


ABBILDUNG 1.

GEWÖHNLICHE

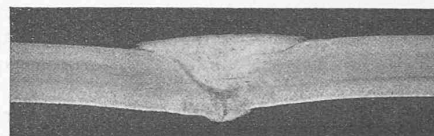
ALTE AUTOGEN-

SCHWEISSUNG

MIT DEM

GASBRENNER

GEGLÜHT.



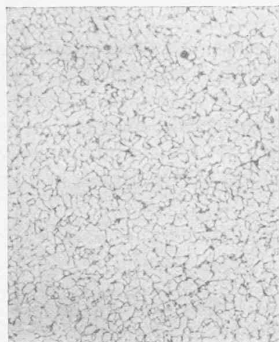
valeur pratique des méthodes de calcul courantes; la sécurité des constructions établies sur leur base est suffisamment démontrée. Une des causes de ce succès réside toutefois dans le fait que les efforts de compression du béton restent en réalité au-dessous de ceux calculés. Mais on tend toujours plus à utiliser cette marge de sécurité en élevant le taux de travail du béton au-dessus de ce qu'on admettait comme raisonnable pour une construction de béton non armée. Une armature judicieuse permet, il est vrai, d'augmenter la solidité d'une construction jusqu'au dessus de la limite de résistance du béton puisque, malgré la fissuration de celui-ci, la destruction ne se produit que lorsque l'armature sera fatiguée au-delà de la limite d'élasticité de l'acier. Jusqu'où ose-t-on aller dans cette voie?

En haussant la limite du travail admissible du béton parce que la méthode de calcul employée donne des résultats trop défavorables et en introduisant dans les calculs le coefficient arbitraire $n = E_{\text{Fer}} : E_{\text{Béton}}$ qui ne permet dans aucun cas de déterminer la répartition réelle des efforts subis par le béton et l'armature, on perd la notion du mode de travail et de la sécurité effective de chaque élément de construction. Si cette manière d'opérer dispense celui qui fait usage d'un schéma de calcul de réfléchir à la complexité effective du problème, elle rend extraordinairement importante et délicate la fixation des éléments qui sont à la base du calcul schématique et sont l'objet de prescriptions officielles dans tous les pays.

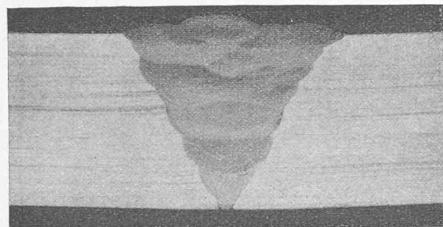
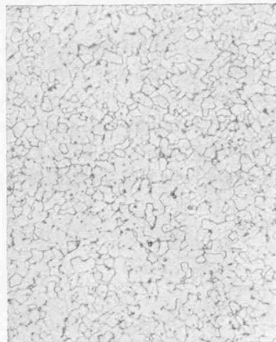
f) Influence de la compression sur la déformation des corps immergés.

Après avoir constaté l'accroissement important du retrait subi par les corps de ciment et de béton exposés à l'air lorsqu'ils sont soumis à la compression, il était intéressant d'étudier de plus près l'influence de la compression sur les corps immergés. Pour cette détermination on a utilisé l'installation ayant servi à mesurer le retrait des prismes comprimés, et confectionné des éprouvettes de ciment pur et de béton à 400 kg de ciment par m³. Une série de prismes était soumise à un effort spécifique de 6 kg/cm² tandis qu'une série identique restait non chargée et servait de témoin. La mise sous charge a été effectuée

Blechedicke 10 mm



Blechedicke 25 mm



Ober Mikrogefüge
in 200facher
Vergrößerung.
Unten Makrogefüge
in natürlicher
Grösse.

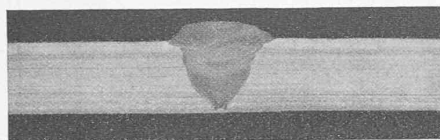


ABBILDUNG 2.
ELEKTRISCHE
GLEICHSTROM-
SCHWEISSUNG
MIT UMHÜLLTER
(GETAUCHTER)
ARCOS
STABILEND
ELEKTRODE.

au bout de 3 semaines. Jusqu'à ce moment les prismes de ciment avaient subi un gonflement de $0,2\text{‰}$ tandis que l'allongement du béton était encore négligeable. Après la mise sous pression la dilatation s'est poursuivie d'une manière identique pour le prisme de ciment chargé et celui non chargé et a atteint après 4 mois $0,6\text{‰}$. Le prisme de béton non chargé présente un très léger allongement, $0,1\text{‰}$, tandis que le prisme chargé ne présente aucune variation de longueur.

Il est ainsi démontré que les forces développées lors de l'hydratation du ciment ont été supérieures à la sollicitation extérieure et que le phénomène de durcissement du ciment n'a aucunement été entravé par la charge. Celle-ci était réduite, il est vrai, mais sous la même sollicitation le béton exposé à l'air se rétracterait de 1‰ , de sorte que la différence est fondamentale. Ces résultats montrent en outre qu'il ne saurait être question d'une diminution du coefficient d'élasticité du ciment sous la charge, lorsque le phénomène du retrait ne peut se produire.

Nous avons vu que l'âge n'influe pas sur le retrait total du béton non chargé, ce qui est compréhensible, car il semble probable que la dessiccation détermine toujours la même sollicitation interne. Bien que les forces développées par le retrait soient considérables, elles sont limitées par la résistance du ciment à la traction et ne suffisent pas pour comprimer les grains de matières inertes et par suite produire une modification de la structure. Par contre, si le béton est sollicité à la compression et qu'il ait la faculté de se dessécher, les particules de ciment se rétractent et échappent ainsi à l'influence de la charge, ce qui a pour conséquence une plus forte compression des éléments inertes et un tassement progressif de la masse. Le ciment qui s'est rétracté ne reste pas moins capable de continuer son hydratation et de rétablir progressivement la liaison entre les grains de ballast qui ont subi des déplacements minimes. Le phénomène que l'on pourrait désigner par *plasticité* du béton, ne diffère pas essentiellement de celui qui se produit lors du retrait du béton non chargé, la seule différence étant que, dans un cas, les mouvements se produisent dans tous les sens avec la même intensité tandis que, dans l'autre, ils sont plus

importants dans le sens où agit la force extérieure. On comprend sans peine que, dans ce dernier cas, lorsque la charge cesse, le phénomène ne soit pas réversible. Lorsque le béton est immergé, la sollicitation extérieure agissant seule est insuffisante pour déterminer un tassement du liant et par conséquent un accroissement de la déformation élastique du béton avec le temps.

Versuche mit autogen und elektrisch geschweissten Stäben.

In einem konzentrierten Bericht¹⁾ hat Prof. M. Roš die wichtigsten Ergebnisse der umfassenden und ausgedehnten Untersuchungen zusammengefasst. Die Schweissungen sind von den drei Firmen: A.-G. Escher Wyss & Cie., Zürich, Schweiz. Lokomotiv- und Maschinenfabrik, Winterthur und A.-G. Gebrüder Sulzer, Winterthur ausgeführt worden und stellen wohl das Beste dar, was heute technisch laufend erzielt werden kann. Das Versuchsprogramm ist von der Schweiss-Kommission des S. V. M. T. aufgestellt worden, welche Kommission von Ing. A. Sonderegger geleitet wird. Es kamen 14 verschiedene Schweissverfahren miteinander zum Vergleich, in denen das Schweissverfahren selbst, die Nachbehandlung der Schweissung, die Blechedicke, das Elektrodenmaterial oder der Schweissdraht und die Stromart variiert wurden. Die nachfolgende Prüfung erstreckte sich auf Zerreissprüfung, Faltbiegeprüfung, Brinellhärteprüfung, makro- und mikroskopische metallographische Untersuchung. Von den gefundenen Resultaten sind nachfolgend nur die allerwichtigsten kurz zusammengefasst.

Die besten elektrischen Schweissungen erwiesen sich in jeder Hinsicht den autogen geschweissten Proben überlegen. Fast alle elektrischen Schweissungen waren nach Zerreiss- und Härteprobe den autogenen Schweissungen ebenbürtig oder überlegen, hingegen wiesen die weniger guten elektrischen Schweissungen ein schlechteres Ergebnis der Faltbiegeprobe auf. Zuzufolge der grossen in den letzten Jahren gemachten Fortschritte ist somit heute die elektrische Schweissung der autogenen mindestens ebenbürtig. Die Schweissungen von 10 mm dicken Blechen waren durchwegs gleichmässiger als jene von 17 und 25 mm dicken Blechen; die besten elektrischen Schweissverfahren erwiesen sich aber weitgehend unabhängig von der Blechedicke. Nachträgliches Ausglühen autogener Schweissungen vergrössert das Verformungsvermögen. Elektrische Schweissungen, ausgeführt mit blanken nackten Drähten, zeigten im Vergleich zu den andern elektrischen und den autogenen Schweissungen etwas geringere Festigkeit und stark verkleinerte Verformungsfähigkeit; den heutigen Anforderungen können nur umhüllte Elektroden genügen. Das wurzelseitige Nachschweissen elektrisch geschweisster V-Nähte steigert die Biegezahl beträchtlich. Mit Wechselstrom wurden unter sonst gleichen Bedingungen eben so gute Resultate erreicht, wie mit Gleichstrom.

Die zahlreichen metallographischen Aufnahmen, die im Bericht wiedergegeben sind, gewähren einen guten Einblick in den innern Aufbau der Schweissungen. Bei autogenen Schweissungen ist die Wirkung der starken Erhitzung auf das anliegende Material meistens an dem veränderten Gefüge zu erkennen. Der Uebergang vom Schweissgut zum Blech ist in allen Fällen gut befunden worden; immer zeigt aber das Schweissgut selbst im mikroskopischen Bilde kleinere Unregelmässigkeiten wie Schlackeneinschlüsse, Poren etc.

Zur Veranschaulichung des Gesagten seien hier die Aufnahmen nach zwei verschiedenen Verfahren wiedergegeben. Die mikroskopischen Aufnahmen stammen aus der Mitte der Schweissung. In beiden Fällen erreicht die Festigkeit des geschweissten Bleches praktisch die Festigkeit des verwendeten Bleches selbst.

Prof. Dr. E. Honegger.

¹⁾ Ergebnisse der an der Eidg. Materialprüfungsanstalt in den Jahren 1930/31 durchgeführten Versuche mit autogen und elektrisch geschweissten Stäben. Diskussionsbericht Nr. 46 der E. M. P. A., erstattet von Prof. Dr. Ing. h. c. M. Roš. Zürich, Mai 1932. 10 Seiten Text, 67 Abb.