

## NRC Publications Archive Archives des publications du CNRC

### Changements de volume et fluage du béton Feldman, R. F.

For the publisher's version, please access the DOI link below./ Pour consulter la version de l'éditeur, utilisez le lien DOI ci-dessous.

#### **Publisher's version / Version de l'éditeur:**

<https://doi.org/10.4224/40001034>

*Digeste de la construction au Canada, 1974-02*

#### **NRC Publications Archive Record / Notice des Archives des publications du CNRC :**

<https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/object/?id=3b1dd29a-c785-4565-917a-7b87004568c4>

<https://publications-cnrc.canada.ca/fra/voir/objet/?id=3b1dd29a-c785-4565-917a-7b87004568c4>

Access and use of this website and the material on it are subject to the Terms and Conditions set forth at

<https://nrc-publications.canada.ca/eng/copyright>

READ THESE TERMS AND CONDITIONS CAREFULLY BEFORE USING THIS WEBSITE.

L'accès à ce site Web et l'utilisation de son contenu sont assujettis aux conditions présentées dans le site

<https://publications-cnrc.canada.ca/fra/droits>

LISEZ CES CONDITIONS ATTENTIVEMENT AVANT D'UTILISER CE SITE WEB.

**Questions?** Contact the NRC Publications Archive team at

PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca. If you wish to email the authors directly, please see the first page of the publication for their contact information.

**Vous avez des questions?** Nous pouvons vous aider. Pour communiquer directement avec un auteur, consultez la première page de la revue dans laquelle son article a été publié afin de trouver ses coordonnées. Si vous n'arrivez pas à les repérer, communiquez avec nous à PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca.

## **Digeste de la Construction au Canada**

Division des recherches en construction, Conseil national de recherches Canada

**CBD 119F**

# **Changements de volume et fluage du béton**

*Publié à l'origine en février 1974*

*R.F. Feldman*

### **Veillez noter**

Cette publication fait partie d'une série qui a cessé de paraître et qui est archivée en tant que référence historique. Pour savoir si l'information contenue est toujours applicable aux pratiques de construction actuelles, les lecteurs doivent prendre conseil auprès d'experts techniques et juridiques.

La résistance à la déformation qui fait du béton un matériau utile implique aussi que les variations de volume du béton lui-même sont susceptibles d'entraîner des conséquences importantes en service. Toute possibilité d'expansion ou de retrait peut conduire à des complications, extérieurement à cause d'interactions structurales avec d'autres éléments, ou intérieurement lorsque le béton est armé. Il peut même se produire des désordres si la pâte de ciment ou le granulat change de dimensions produisant de contraintes en tension dans un des composants et des contraintes en compression dans l'autre. Des fissures peuvent apparaître lorsque la résistance à la traction relativement faible du béton ou de ses matériaux constitutifs est dépassée.

Les fissures non seulement diminuent la capacité d'une charpente de supporter la charge admissible, elles peuvent aussi affecter sa durabilité et nuire à sa bonne apparence. En plus, le retrait et le fluage peuvent augmenter le fléchissement d'un élément de charpente, affectant défavorablement la stabilité de l'ensemble. Il y a lieu de tenir compte de ces facteurs au moment du design. Les variations de volume du béton ne sont pas ordinairement associés avec les changements qui se produisent durant la prise. La qualité et la durabilité dépendent, d'un autre côté, de ce qui se produit à partir du moment où la gâchée de béton est placée dans un coffrage.

### **Tassement et Ressuage**

Avant début de la prise, le béton se trouve dans un état dit plastique. Le granulat est dispersé par la pâte de ciment et les particules dans la pâte sont dispersées dans l'eau. Il se produit, après la mise en oeuvre, une période de tassement alors que les particules se rapprochent les unes des autres; la plus grande partie de ce tassement survient en déçu d'une heure de la mise en oeuvre. La variation totale de volume peut, dans les cas extrêmes, atteindre ou dépasser 1 pour cent; ceci n'est de grande importance cependant parce que le béton se trouve dans un état plastique ou semi-plastique de sorte que ces changements ne sauraient engendrer des

contraintes appréciables. L'eau apparaît souvent à la surface, au cours du tassement, après exsudation hors de la masse plastique. Ce phénomène s'appelle ressuage.

L'accumulation d'eau à la surface d'une masse de béton est souvent indésirable; tel est le cas, par exemple, d'un béton mis en place d'une manière continue dans un coffrage profond; la partie supérieure peut progressivement acquérir une quantité croissante d'eau au fur et à mesure du remplissage du coffrage donnant un béton de qualité inférieure en surface. L'accumulation d'une certaine quantité d'eau à la surface n'est, d'un autre côté, pas toujours indésirable parce qu'elle est nécessaire pour empêcher la contraction plastique et pour lubrifier les outils utilisés pour la finition de la surface. Un excès d'eau superficielle peut enfin donner naissance à une mince couche de coulis sur la surface finie, et à une couche faible et vulnérable à la surface du béton. On doit prendre soin de ne pas entreprendre la finition avant la fin de la période de ressuage.

Le tassement peut donner naissance à des désordres structuraux. Une couche d'eau peut se former sous les barres horizontales d'armature de sorte que la moitié de la surface de contact entre acier et béton est perdue. On peut éliminer cette difficulté par une vibration efficace ou la revibration du béton plastique, mais en prenant soin de ne pas toucher à l'acier d'armature. On ne doit cependant pas oublier que le tassement et le ressuage entraînent une réduction de la teneur en eau. Dans le cas où il n'est pas annulé par l'un des résultats indésirables discutés, l'effet est avantageux au point de vue de la résistance, de la perméabilité et de la stabilité du volume.

### **Retrait Plastique**

Lorsque la vitesse d'évaporation excède celle du ressuage, et que la période de tassement libre est terminée, une tension hydrostatique commence à prendre naissance dans l'ensemble de la masse à cause de la formation de ménisques à la surface de l'eau des capillaires. Il en résulte des forces de compression à la fois verticales et latérales, ce qui dans une dalle, peut se manifester par des fissures. C'est la fissuration par retrait plastique. Parmi les mesures préventives l'on compte les pare-soleils, les coupe-vents, l'arrosage à l'eau ou l'application d'un produit de cure destiné à arrêter l'évaporation.

### **Nature du Ciment Portland Hydraté et Mécanisme du Retrait**

A la suite de l'hydratation et du durcissement, le ciment consiste en un mélange de plusieurs composés, tous chimiquement combinés de diverses manières avec l'eau. Le composé qui exerce la plus forte influence sur les caractéristiques du ciment hydraté, retrait inclus, est le silicate de calcium qui possède une grande surface interne comptant de 25 à 50 mille verges carrées par livre. Cette surface interne se compose des parois des pores et fissures minuscules situés à l'intérieur des spécimens. (C'est la nature de cette surface qui fait du ciment hydraté un agent efficace de cimentation et lui confère la souplesse de former des éléments possédant une grande résistance et affectant presque n'importe quelle forme désirée. Lorsque les surfaces sont très proches les unes des autres, il se produit une attraction réciproque comparable à celle de la gravitation donnant naissance à une forte "soudure". Lorsque la surface interne est grande, les nombreuses soudures confèrent aux corps résistance et rigidité.)

Le béton ne constitue donc pas une masse solide inerte, mais se compose d'un très grand nombre de petits pores ou capillaires qui peuvent au total représenter jusqu'à 50 pour cent du volume du béton. Les pores et capillaires sont ordinairement pleins d'eau pendant la cure de sorte qu'il n'existe aucune contrainte. A mesure que progresse la cure, trois mécanismes interviennent pour donner naissance au retrait.

1. La nature instable de l'hydrate de silicate de calcium nouvellement formé entraîne le retrait alors que la dessiccation se produit; la nature exacte de ce mécanisme n'est pas connue d'une manière précise mais il est permanent et irréversible.
2. Des efforts de compression se développent dans le béton du fait de la naissance de ménisques dans les capillaires pendant que progresse la cure.

3. Des changements énergétiques se produisent à la surface du silicate de calcium alors que l'eau s'évapore.

Agissant séparément ou en combinaison, ces mécanismes (ou phénomènes) engendrent le retrait initial du béton due à la dessiccation. Une partie du retrait (30 pour cent ou plus) est irréversible.

### **Changements autogènes de Volume et Ciments Expansifs**

Il convient, avant d'examiner les variations de volume résultant du séchage ou de l'humidification du béton durci, de mentionner les changements autogènes de volume. Ils se produisent, en effet, là ou peu ou pas de changement de la teneur totale en humidité est possible, et jouent un rôle particulièrement important à l'intérieur d'une masse du béton. Deux effets opposés peuvent se produire. Tandis que la réaction entre eau et ciment non hydraté suit son cours, le volume réel du solide augmente. Il en résulte dans la structure des contraintes et, par suite, une dilatation. Par la suite, la quantité d'eau disponible pour la réaction diminue, la pâte de ciment se dessèche d'elle-même et le retrait varie de 0.001 à plus de 0.015 pour cent.

On utilise l'augmentation de volume qui se produit, au cours de leur formation, dans quelques composants, comme principe de mise au point de ciments expansifs. Quelques-uns d'entre eux, spécialement préparés, subissent à un stade peu avancé des dilatations relativement importantes; si on les utilise dans un béton soumis à des restrictions d'expansion, ils développent le siège des contraintes en compression. Plus tard, lors du séchage, le retrait qui se serait produit est, en tout ou en partie, compensé, de sorte qu'il n'existe plus de contraintes en compression dans le béton.

### **Variations de Volume dues aux Changements de Teneur en Humidité**

Le mécanisme de la variation de volume qui intervient lors du changement de teneur en humidité n'est pas complètement connu. On dispose cependant d'information suffisantes pour fins de travaux. Lors du séchage du béton la première eau à être évaporé n'engendre aucun changement de volume. On estime qu'il s'agit de l'eau libre contenue dans des "pores" de grandes dimensions. A mesure que le séchage progresse, le retrait devient plus important et à l'état d'équilibre et pour une humidité relative de 50 pour cent, on a noté, pour certains bétons, des valeurs de teneur en humidité excédant 0.10 pour cent. Ce comportement est, dans une certaine mesure, qualitativement similaire à celui du bois. Sur de la pâte de ciment pure, on a observé des retraits excédant 0.40 pour cent; la différence existant entre cette valeur et celle obtenue pour le béton est due à diverses contraintes. Une importante partie du béton est composée d'agrégat relativement inerte (de 3 à 7 fois le poids du ciment), et ceci joint à l'acier d'armature réduit le retrait. En plus des contraintes internes, une certaine contrainte provient du fait de la non-uniformité de la contraction de l'élément de béton lui-même. La perte d'humidité se produit à la surface et engendre un gradient d'humidité. La contraction différentielle qui en résulte est associée à des efforts internes, en traction près de la surface et en compression vers le centre, il peut en résulter des gauchissements ou des fissures.

Si on a laissé sécher du béton dans de l'air où H. R. s'élève à 50 pour cent, et qu'on le place ensuite dans l'eau, il gonflera. Même après entreposage prolongé, cependant, le béton ne récupérera pas la totalité du retrait initial. Pour la plupart des bétons courants, la partie irréversible du retrait s'élève à environ 30 à 60 pour cent de la contraction total dû au durcissement; la plus basse de ces deux valeurs est la plus fréquemment rencontrée. Parce que le retrait exerce une forte influence sur le comportement des constructions en béton on a exécuté des travaux de recherche considérables pour obtenir plus de connaissances sur les facteurs dont il dépend.

*Effet de la teneur en ciment et eu eau sur le retrait.*

La teneur en eau est probablement le facteur isolé le plus important exerçant une influence sur le retrait de la pâte et du béton. Pour les échantillons de béton présentant un rapport granulats-ciment de 5 à 1, les valeurs typiques de retrait sont 0.04, 0.06, 0.075, et 0.085 pour cent

rappports eau-ciment de 0.4, 0.5, 0.6 et 0.7 respectivement. Une des raisons de ces variations consiste dans le fait que la densité et la composition du silicate de calcium formé avec différents rapports eau-ciment peuvent varier légèrement. D'une manière générale, une teneur plus élevée en ciment augmente le retrait du béton; la relation entre les retraits de la pâte de ciment pure, du mortier et du béton est de l'ordre d'environ 5, 2, et 1. Pour des matériaux donnés, cependant, et pour une teneur uniforme en eau, le retrait du béton varie peu pour un large écart de teneurs en ciment; un mélange plus riche présente un rapport eau-ciment plus faible, et ces facteurs se compensent mutuellement.

#### *Propriétés du Ciment.*

La finesse du ciment semble jouer un rôle dans le retrait; les particules ne traversant pas le tamis 200 réagissent très lentement en présence de l'eau; aussi exercent-elles un effet de contrainte semblable à celui de l'agrégat. C'est ainsi que du ciment à haute résistance initiale, qui est extrêmement fin, se contracte environ 10 pour cent de plus que le ciment normal. Les ciments à faible dégagement de chaleur et les ciments Portland aux pouzzolanes, se contractent respectivement 20 à 35 pour cent de plus. On pense que ce fait est dû aux plus grandes quantités de silicate de calcium - l'élément causant le retrait - qui y sont présentes.

#### *Type et Classification du Granulat.*

Comme on l'a exposé précédemment, le retrait du ciment dû au séchage ne représente qu'une partie de celui du ciment pur parce que les particules de granulat non seulement diluent la pâte, mais la renforcent contre la contraction. On a démontré que lorsqu'on utilise un granulat aisément compressible, le béton se contracte autant que le ciment pur, et que le schiste expansé entraîne un retrait un tiers plus important que celui du granule courant. La grenaille de fonte provoque d'un autre côté un retrait un tiers plus faible que celui du béton ordinaire. Les propriétés élastiques des granulats déterminent, d'une manière générale, le degré de contrainte offert. La grosseur et la gradation du granulat n'influencent pas par eux-mêmes la grandeur du retrait, mais un granulat plus gros permet l'emploi d'un mélange contenant moins de ciment et par suite sujet à un moindre retrait. Aussi obtiendra-t-on une substantielle réduction du retrait en augmentant la grosseur maximale du granulat et de là la teneur en granule de 20 pour cent du volume total du béton.

Le retrait des granulats eux-mêmes peut jouer un rôle extrêmement important dans la détermination du retrait du béton; certains grès à grains fins, ardoises, basaltes, rocs trappéens et certains granules contenant de l'argile présentent d'importants retraits. D'une manière générale, les bétons présentant un faible retrait contiennent du quartz, du calcaire, du granit ou du feldspath. Les effets nuisibles causés par un retrait anormal du béton engendrés par le granulat, et effectivement observés sur des constructions, sont variés. Ils comprennent le fendillement excessif, le fléchissement important de poutres et dalles armées, et un peu d'effritement. Il est essentiel, lorsqu'on se propose d'utiliser une source nouvelle de granulat, de procéder à des essais de manière à s'assurer qu'il n'en résultera pas un retrait excessif du béton. Si le retrait est supérieur à 0.08 pour cent, le granulat en cause doit être considéré comme indésirable.

#### *Effet des Adjuvants.*

Ainsi qu'on peut le prédire d'après les effets exercés par le rapport eau-ciment sur le retrait, les adjuvants qui augmentent les besoins en eau du ciment augmentent le retrait et ceux qui en diminuent les besoins, diminuent le retrait. Dans la proportion souvent utilisée comme accélérateur (2 pour cent en poids de la quantité de ciment), le chlorure de calcium peut augmenter le retrait dû au séchage dans une proportion pouvant atteindre 50 pour cent.

L'effet d'ensemble produit par l'emploi de béton à air occlus n'est pas une augmentation du retrait. Si on les utilise dans des proportions plus fortes qu'il n'est normalement prévu, certains adjuvants peuvent augmenter considérablement le retrait; aussi doit-on apporter une grande attention aux proportions utilisées.

#### *Vitesse de Séchage.*

Il est important, lorsqu'on désire évaluer la pertinence du problème du retrait, de tenir compte de la dimension de l'élément et des conditions d'exposition. Le séchage du béton ordinaire exposé à un environnement maintenu à 50 pour cent d'humidité relative affecte en un mois la teneur en humidité jusqu'à une profondeur de 3 pouces. Une exposition continue à des conditions semblables jouerait un rôle important dans le cas de petits éléments de béton mais serait sans importance dans le cas d'éléments massifs.

#### *Retrait par Carbonatation.*

La réaction entre l'acide carbonique et le ciment hydraté constitue un autre mécanisme susceptible de produire le retrait du béton. Ce retrait atteint une valeur maximale lorsque le béton est en état d'équilibre dans un environnement où l'H.R. est de 50 pour cent. Combiné avec le retrait dû au séchage, il a pour résultat un fendillement excessif des surfaces exposées à l'air, planchers en béton par exemple, lorsque les teneurs en  $\text{CO}_2$  sont élevées. Cette situation se retrouve souvent sur les chantiers de construction l'hiver.

On utilise quelquefois la carbonatation au cours de la cure des produits en béton en vue de favoriser le retrait et de réduire ainsi les contraintes qui en résultent lorsque les éléments sont incorporés dans une structure. La carbonatation réduit également la perméabilité; cela résulte probablement des dépôts, dans les pores et les capillaires, des produits de la réaction.

#### **Fluage du Béton**

Le fluage du béton dû à l'action d'une contrainte continue consiste dans une augmentation graduelle de déformation avec le temps. Il peut être du même ordre de grandeur que le retrait dû au séchage. Tel qu'on le définit, le fluage ne comprend aucune déformation élastique instantanée causée par le changement, ni le retrait ou gonflement engendrés par les variations de teneur en humidité. Lorsqu'un élément de structure en béton sèche sous charge, le fluage qui se produit est un à deux fois plus important qu'il ne le serait dans les conditions normales d'humidité. Si on ajoute à ce qui précède le retrait dû au séchage, et si l'on tient compte du fait que le fluage peut être quelques fois plus important que la déformation élastique lors du chargement, on conçoit que ces facteurs peuvent engendrer un fléchissement considérable et jouent un rôle très important dans la mécanique des structures.

Si on enlève une charge permanente, la déformation décroît immédiatement d'une quantité égale à la déformation élastique existant à un âge déterminé; elle est généralement inférieure à la déformation élastique créée au moment de la mise en charge, car le module d'élasticité a augmenté au cours de la période intermédiaire. Cette déformation de retour instantanée est suivie d'une diminution graduelle de la déformation, c'est le fluage réversible. Ce retour n'est pas complet car le fluage n'est pas un phénomène réversible.

On croit maintenant que le fluage est principalement dû à l'enlèvement de l'eau se trouvant entre les feuilles du cristallite de silicate de calcium et à un réarrangement possible des liaisons existant entre les surfaces des cristallites individuels.

#### **Facteurs influant sur le Fluage.**

Un béton sujet à un retrait important présente aussi en général un important fluage, mais on ne comprend pas encore le rapport existant entre ces deux phénomènes. L'évidence suggère qu'il existe entre eux une étroite relation. Lorsque du ciment hydraté est complètement asséché, le fluage est minime ou même inexistant; pour un béton donné, plus l'humidité relative est basse, plus le fluage est important.

La résistance du béton exerce sur le fluage une influence considérable; dans un large domaine, le fluage est inversement proportionnel à la résistance du béton au moment de l'application de la charge. Il en résulte que le fluage est lié étroitement au rapport eau-ciment. Il n'y a pas de doute que le module d'élasticité du granulat contrôle l'importance du fluage qui peut se produire et que les bétons fabriqués avec différents granulats présentent des fluages de grandeurs variables.

Les essais ont montré que le fluage continue à se produire sur une très longue période de temps; on a pu constater des changements appréciables après une durée atteignant 30 ans. Le taux d'accroissement du fluage diminue cependant d'une manière continue et on estime généralement qu'elle tend vers une valeur limite. On considère que 75 pour cent du fluage observé sur 20 ans se produit au cours de la première année.

#### *Effets du Fluage.*

Le fluage d'un béton ordinaire n'affecte pas par lui-même la résistance de ce dernier; quoique, sous l'influence de contraintes très élevées, le fluage hâte l'apparition de la déformation limite à laquelle se produit la rupture. L'influence exercée par le fluage sur la résistance de rupture d'une poutre en béton armé à portée simple soumise à une charge permanente est insignifiante, par contre le fléchissement augmente considérablement et ce fait peut, dans de nombreux cas, constituer une considération d'importance majeure lors du design. Un autre exemple des effets nuisibles du fluage réside dans l'influence qu'il exerce sur la stabilité d'une structure du fait de l'accroissement de la déformation et du transfert subséquent de charge à d'autres éléments. Ainsi même dans le cas où le fluage n'affecte pas la résistance de rupture de l'élément dans lequel il se produit, ses conséquences peuvent être extrêmement sérieuses concernant le comportement de la structure dans son ensemble.

La perte de précontrainte due au fluage est bien connue, et on lui a attribué les échecs intervenus lors des premiers essais de précontrainte. C'est seulement avec l'introduction de l'acier à haute tension que la précontrainte du béton s'est révélée une opération avantageuse. Les effets du fluage peuvent donc être nuisibles. Dans l'ensemble, cependant, le fluage contrairement au retrait, offre l'avantage de soulager les concentrations de contraintes et a contribué au succès remporté par le béton comme matériau de construction.

#### **Conclusion**

La variation de volume et le fluage des matériaux peuvent être des phénomènes importants à considérer lors du design et de la construction et la meilleure manière de les accommoder est par une connaissance plus grande des facteurs responsables de tels comportements. Comme de nombreux autres matériaux utilisées en construction, le béton a une structure physique et chimique complexe encore incomplètement connue. C'est par une appréciation du connu et des interactions possibles que nous arriverons au perfectionnement dans le design et la mise en pratique.