

Maîtrise du retrait pour la réalisation d'ouvrages durables en béton (1)

Autor(en): **Hermann, Kurt / Jacobs, Frank**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin du ciment**

Band (Jahr): **69 (2001)**

Heft 4

PDF erstellt am: **17.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-146559>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Maîtrise du retrait pour la réalisation d'ouvrages durables en béton (1)

Le retrait est inhérent au béton, mais il n'est en lui-même pas grave tant qu'il ne se forme pas de fissures. Pour réduire le risque de fissuration, des mesures visant à limiter le retrait sont judicieuses.

«Retrait» et «expansion» désignent les variations de volume d'un béton dues à des modifications de la teneur en eau par suite de dessiccation ou de réactions chimiques entre eau et ciment. Le retrait diminue le volume d'un corps en béton, alors que l'expansion l'augmente.

L'écoulement de la chaleur provenant de l'hydratation du ciment dans des éléments d'ouvrage dont la déformation est entravée crée des contraintes. Ces contraintes sont souvent désignées par contraintes de retrait, ce qui est faux, car il s'agit en l'occurrence de contraintes thermiques. Il en sera traité dans le «Bulletin du ciment» de juin.

Le retrait ne pose pas de problème aussi longtemps qu'il ne se forme pas de fissures. Lors des essais de retrait en laboratoire, on ne constate en

règle générale pas de fissures, car la déformation des éprouvettes n'est pas entravée. On peut même fabriquer des dalles en béton d'une surface jusqu'à 900 m², sans joints de dilatation et exemptes de fissures, lorsqu'une armature uniforme est possible.

Le retrait devient critique lorsque la déformation d'un béton est entravée et que sa capacité d'allongement à la rupture est dépassée (environ 0,05 à 0,20 ‰ ou 0,05 à 0,20 mm/m) [10].

Types de retrait

Dans le présent article, il est traité de quatre types de retrait:

- retrait plastique
- retrait endogène
- retrait de dessiccation
- retrait de carbonatation.

Il ressort du *tableau 1* que le retrait de carbonatation (réduction de vo-

lume due à la carbonatation du béton) est relativement insignifiant dans la pratique. C'est pourquoi il n'en sera plus fait mention ici.

Retrait plastique

Le retrait plastique (retrait précoce) apparaît dans le béton frais durant les premières heures séparant le compactage du début du durcissement. Pendant ce laps de temps, il ne se produit pas de réactions chimiques importantes du ciment (phase de repos).

Le retrait plastique est dû à l'eau cédée à l'environnement. Le béton se dessèche et se contracte (forces capillaires).

Lorsque le béton exsude un peu d'eau (ressuage), le retrait plastique est retardé; un fort ressuage est toutefois inopportun (voir «Bulletin du ciment» sur le ressuage [13]).

Types de retrait	Moment	Retrait [‰]	Remarques
Retrait plastique	Jusqu'à la prise	0-4	Problèmes en cas de grandes surfaces (sols) Problèmes avec bétons sans eau de ressuage
Retrait endogène	Pendant les premiers jours	0-0,3	Important surtout en cas de bas rapports e/c ($\leq 0,45$)
Retrait de dessiccation	Depuis la prise, pendant des années	0,1 (expansion)	Conservation dans l'eau
		0,1	Conservation en atmosphère très humide (90 % hum. rel.)
		0,3	Conservation en plein air (70 % hum. rel.)
		0,5	Conservation à l'intérieur en atmosphère sèche (50 % hum. rel.)
Retrait de carbonatation	Des semaines à des décennies	0-0,01	Retrait maximal à environ 70-80 % hum. rel.

Tab. 1 Retraits d'éléments d'ouvrage en béton non armé avec rapports e/c usuels [10, 12].

Le risque est particulièrement important sur les grandes surfaces horizontales, qui, après le bétonnage, ne sont pas suffisamment protégées contre le vent et l'ensoleillement. La prudence est également de mise avec les bétons à bas rapport e/c, car ils ne ressentent pas.

Un traitement de cure dans les règles de l'art aide à lutter contre le retrait plastique. Lorsque la cure est insuffisante ou est exécutée trop tard, de grandes fissures, de largeurs et profondeurs variables, peuvent se former à la surface.

Retrait endogène

Le retrait endogène se produit sans qu'il y ait échange d'eau ou d'humidité avec l'environnement. Il est dû à un changement de volume pendant l'hydratation du ciment: la pâte de ciment occupant un plus petit volume que les matières de base (ciment et eau), il en résulte une diminution de volume du béton.

Le retrait endogène est faible pour les bétons avec rapport e/c de $\geq 0,40$ à $0,45$ ($\leq 0,1$ ‰; figure 2). Dans les bétons à très hautes résistances et les bétons à hautes performances avec

bas rapport e/c ($< 0,35$ – $0,40$), il peut devenir le principal type de retrait. Lorsque le retrait endogène est important, il se produit généralement aussi des déformations dues à la chaleur d'hydratation dégagée (voir «Bulletin du ciment» de juin 2001).

Retrait de dessiccation

Le mécanisme du retrait de dessiccation est le même que celui du retrait plastique: échange d'eau avec l'environnement après le durcissement. De nombreux facteurs exercent une influence sur la grandeur du retrait de dessiccation, p. ex. [3, 10]:

A propos de cet article

Le présent article est basé en majeure partie sur des exposés présentés lors de deux séminaires du TFB:

- «Maîtrise du retrait pour la réalisation d'ouvrages durables en béton» le 16 novembre 2000 à Fribourg [1–6]
- «Mit möglichst geringem Schwinden zu dauerhaften Bauwerken?» le 12 février 2001 à Wildegg [7–11].

Ont parlé:

- [1] R. Leutwyler (Genève) sur «Qu'est-ce qui détermine la durabilité des ouvrages en béton?»
- [2] E. Dénarié (Lausanne) sur «Influences de la fissuration sur la durabilité: causes, conséquences, prévention»
- [3] J.-P. Jaccoud (Eclépens) sur «Mesures relevant de la technologie du béton pour réduire le retrait – 1^{ère} partie: Généralités – les différents types de retrait et facteur d'influences»
- [4] P. Mivelaz (St-Sulpice) sur «Mesures relevant de la technologie du béton pour réduire le retrait – 2^e partie: Maîtrise du retrait thermique»
- [5] J.-P. Jaccoud (Eclépens) sur «Mesures constructives pour réduire le retrait et ses conséquences»
- [6] P. Graber (Lausanne) sur «Mesures imposées par le maître d'ouvrages: Plan de qualité»
- [7] W. Schuler (Ittigen) sur «Was bestimmt die Dauerhaftigkeit von Bauwerken? – Sicht des Bauherrn»
- [8] E. Brühwiler (Lausanne) sur «Einfluss von Rissen auf die Dauerhaftigkeit: Rissursachen, Folgen, Prävention» (correspond \pm à l'exposé de Dénarié [2])
- [9] J.-P. Jaccoud (Eclépens) sur «Konstruktive Massnahmen zur Reduktion des Schwindens: Bewehrung, Vorspannung, Bauteilgrösse, Bauablauf»
- [10] F. Jacobs (Wildegg) sur «Betontechnologische Massnahmen zur Reduktion des Schwindens: Schwindarten, Betonzusammensetzung, Einbau, Nachbehandlung; Bestimmung des Schwindens im Labor»
- [11] R. Suter (Soleure) [11 a] et S. Brigger (Soleure) [11 b] sur «Qualitätssicherung bei der Bauausführung: Bonus-Malus-System als Schlüssel zum Erfolg? – Finanzielle Anreize aus der Sicht des Bauherrn ([11 a]) – Erfahrungen des Unternehmers ([11 b])»

D'autres informations proviennent de la littérature spécialisée (voir Bibliographie en page 7).

- composition du béton
 - propriétés des composants du béton
 - cure
 - conditions environnementales telles que température, vent, humidité
 - perméabilité du béton, fissures
 - âge du béton
 - géométrie de l'élément d'ouvrage, armature, contrainte
- Il est traité ici brièvement de quelques-uns de ces facteurs.

Eau et ciment [3]

L'influence de la teneur en eau et du dosage en ciment, c'est-à-dire du rapport e/c , sur le retrait de dessiccation des mortiers et bétons sans HBV est résumée à la figure 1. Règle simplifiée: avec des dosages en ciment identiques, le retrait est d'autant plus réduit que la teneur en eau est faible. D'autres conséquences sont par exemple [3, 10]:

- Le retrait est plus ou moins constant lorsque le rapport e/c et le dosage en ciment c changent, mais que la quantité d'eau e est constante.
- Avec des bétons sans HBV de même consistance, le retrait augmente lorsque le rapport e/c diminue. La raison en est que plus le rapport e/c est bas, plus la teneur néces-

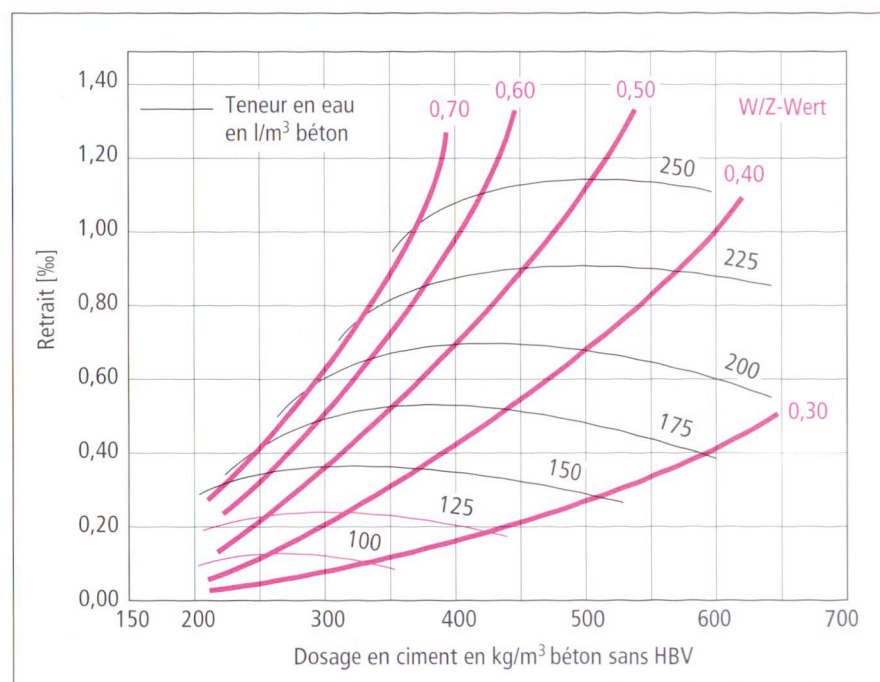


Fig. 1 Influence du dosage en ciment et du rapport e/c sur le retrait de dessiccation des bétons et mortiers (prismes $100\text{ mm} \times 100\text{ mm} \times 400\text{ mm}$, 5 jours de conservation en milieu humide suivis de conservation à 50 % hum. rel. [12, 14]). Dessin TFB

saire en pâte de ciment, et donc en eau e , est élevée.

En règle générale, l'adjonction de HBV augmente le retrait. Ce n'est qu'en réduisant en même temps la teneur en eau et le volume de la pâte de ciment que l'on peut à peu près compenser l'influence négative du HBV.

L'influence du type de ciment sur le retrait de dessiccation est généralement minimale.

Granulats [3, 10]

La composition granulométrique des granulats exerce une influence sur le

retrait de dessiccation: plus le diamètre maximum des grains est grand, plus le volume de la pâte de ciment durcie, et en même temps le retrait, est faible. Plus le module d'élasticité des granulats est élevé, plus le retrait de dessiccation est faible.

Le retrait des bétons avec granulats gréseux (module d'élasticité = 20 kN/mm^2) est environ deux fois plus grand que celui des bétons avec granulats calcaires (module d'élasticité = 60 kN/mm^2). Les modules d'élasticité des granulats légers sont en général bas. Le retrait des bétons légers est donc également de 20 à

50 % plus élevé que celui d'autres bétons à résistance et ouvrabilité comparables [3].

Le besoin en pâte de ciment des granulats dont la courbe granulométrique permet un tassement avec peu de vides est faible. Les granulats ayant un trop faible pourcentage de fines, aussi bien que ceux en ayant un trop fort, exigent davantage de pâte de ciment, et leur retrait est en conséquence plus élevé.

Etant donné que les bétons auto-compactants (SCC, [15]) contiennent davantage de pâte de ciment que les bétons «normaux» avec propriétés

du béton durci comparables, leur retrait est généralement plus fort.

Adjuvants réducteurs de retrait [10]

Les adjuvants réducteurs de retrait n'ont encore été que trop peu étudiés pour pouvoir être évalués de façon concluante. On a observé des réductions du retrait allant jusqu'à 30 % (durée des essais 90-365 jours). On ne dispose pas encore d'expériences sur le long terme.

Il est admis que ces adjuvants réduisent la tension superficielle de l'eau interstitielle. Les forces capillaires coresponsables du retrait de dessiccation s'en trouvent amoindries. On a

en outre observé que la résistance à la compression et à la traction ainsi que le module d'élasticité et l'énergie de rupture des bétons avec adjuvant réducteur de retrait diminuaient jusqu'à 30 %. Les ciments expansifs, dont l'action est régie par un autre principe, ne sont guère connus en Europe.

Fibres [10]

Les fibres d'acier n'ont aucune influence sur le retrait. Si elles sont bien ancrées dans la pâte de ciment durcie, que la te-

neur en est suffisante (> env. 1 % du volume; dépend de la géométrie des fibres) et que leur module d'élasticité est nettement supérieur à celui du béton, elles permettent de réduire la largeur des fissures.

Avec des dosages en fibres jusqu'à environ 0,2 % du volume, ce sont surtout une durée de malaxage plus longue et une surface à mouiller plus grande (béton plus stable) qui peuvent avoir des effets positifs sur les propriétés du béton.

Le retrait en général

Les différents types de retrait interfèrent. La *figure 2* fait voir que d'une part le retrait endogène diminue en effet lorsque le rapport e/c est plus élevé, mais que d'autre part le retrait de dessiccation augmente. Il résulte de l'addition des deux types de retrait qui dépendent des variations de la teneur en eau dans le béton durci un retrait presque constant dans la fourchette usuelle du rapport e/c.

Mesures du retrait

On peut travailler en laboratoire avec beaucoup plus de précision que dans la pratique. C'est pourquoi il est important de trouver des mélanges témoignant d'un faible retrait, qui d'une part peuvent être fabriqués en centrale avec un minimum de variations, et d'autre part ne réagissent

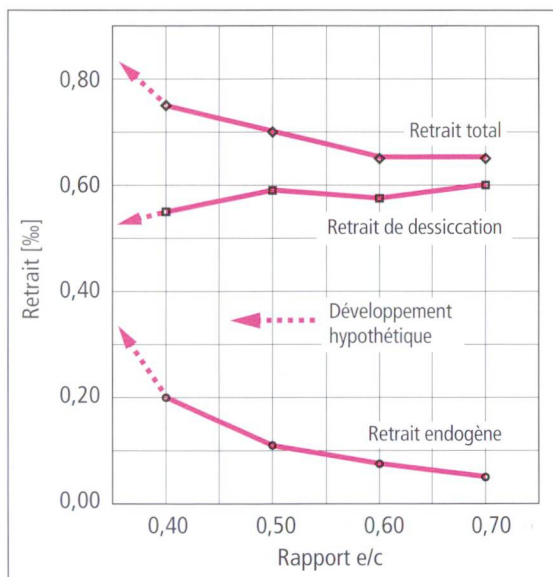


Fig. 2 Influence du rapport e/c sur le retrait de dessiccation et le retrait endogène (selon [12]).

Dessin: TFB

que peu à des changements dans la composition. Il ne faut pas oublier que le retrait n'est qu'une des propriétés du béton parmi d'autres. Lors de la composition du mélange, il faut également tenir compte de ces autres propriétés [10].

Lors d'essais en laboratoire sur de petites éprouvettes, les retraits enregistrés sont en général beaucoup plus élevés que ceux mesurés sur des éléments d'ouvrage.

Dans la norme SIA 162/1 [16], la mesure du retrait n'est pas réglée de façon détaillée. Sont usuels:

- mesure sur des prismes (120 mm x 120 mm x 360 mm)
- éprouvettes conservées à 20 °C et 70 % d'humidité relative.

Selon la norme SIA 162/1 [16], la mesure de départ doit être effectuée 24 heures après la fabrication du béton, à moins que le début de la prise du

béton soit retardée par un adjuvant (p. ex. retardateur ou beaucoup de HBV) ou par des ajouts à réaction lente tels que cendres volantes.

En ce qui concerne les tunnels pour la A5 dans le canton de Soleure, les conditions prescrites pour les mesures du retrait diffèrent de celles de la SIA:

- éprouvettes: cylindres de $\varnothing = 100$ mm, hauteur = 300 mm
- conservation des éprouvettes à 23 °C et 50 % d'humidité relative
- mesure entre le 10^e et le 60^e jour.

Les résultats des deux méthodes n'ont qu'un lointain rapport. D'après la méthode soleuroise, les bétons avec un retrait précoce élevé peuvent témoigner d'un retrait final nettement plus bas que d'après la méthode SIA, cela parce que la mesure de départ ne s'effectue que le 10^e jour.

Mots-clés

Retrait, retrait de carbonatation, retrait de dessiccation, retrait endogène, retrait plastique, retrait précoce, SCC

Un bref bilan

Le retrait est inhérent au béton, mais il n'est en lui-même pas grave tant qu'il ne se forme pas de fissures.

Pour réduire le risque de fissuration, des mesures visant à limiter le retrait sont judicieuses. Il faut prêter une attention particulière à trois points:

- Utiliser des bétons exigeant relativement peu d'eau. (Un bas rapport e/c ne suffit pas.)
- Utiliser des bétons nécessitant le moins possible de pâte de ciment, c'est-à-dire des granulats avec diamètre maximum des grains le plus élevé possible
- Le traitement de cure doit être aussi bon et aussi long que possible.

Même ainsi, et bien que le retrait soit retardé et réduit, il n'est pas possible d'empêcher toutes les fissures.

Il sera traité dans le prochain «Bulletin du ciment» des fissures dues au retrait du béton et des mesures de construction pour les empêcher.

Frank Jacobs et Kurt Hermann, TFB

BIBLIOGRAPHIE

En dehors des indications données par les orateurs des séminaires du TFB, les publications suivantes ont été utilisées ou citées:

- [12] Grube, H., «Ursachen des Schwindens von Beton und Auswirkung auf Betonbauteile», Schriftenreihe der Zementindustrie 52, 84 pages (1991).
- [13] van Egmond, B., et Hermann, K. «Le ressuage du béton», Bulletin du ciment 67 [2], 3–7 (1999).

[14] Czernin, W., «Zementchemie für Bauingenieure», Bauverlag, Wiesbaden, 3^e édition (1977), page 103.

[15] Jacobs, F., et Hermann, K., «Self-compacting concrete», Bulletin du ciment 68 [1], 3–7 (2000).

[16] Norme SIA 162/1: «Ouvrages en béton» (édition 1989).