

Résistance à la carbonatation – une nouvelle exigence concernant les bétons

Les nouveaux éléments nationaux SN EN 206-1/NE:2013 sont valables depuis le 1.1.2013 avec un délai de transition jusqu'au 1.1.2014. Les sortes de béton B, C, D et E doivent satisfaire à une nouvelle exigence relative à la résistance à la carbonatation. Pour de plus amples informations sur les sortes de béton, se référer au bulletin TFB 1/2013.

1 Pourquoi un (nouvel) essai ?

Dans les années 1950 et 1960, la corrosion induite par la carbonatation du béton (fig. 1) avait fait l'objet d'une attention particulière aussi bien dans la pratique que dans la recherche. Les connaissances acquises à cette époque ont conduit à l'exigence de bétons plus denses, d'une surveillance du béton frais et d'enrobages de l'armature plus élevés. Depuis 1956, l'enrobage prescrit par les normes SIA 162 et 262 a été augmenté de 10-20 mm à 35-55 mm aujourd'hui [1].



Figure 1 : éclatements au-dessus des barres d'armature corrodées d'une façade suite à la carbonatation du béton.

Au cours des 15 dernières années, le marché du ciment et du béton a considérablement évolué. De nouveaux ciments avec une teneur réduite en clinker sont apparus sur le marché. En outre, la mise en œuvre de bétons de recyclage va croissant.

Avec ces changements, il devient de plus en plus difficile d'estimer la résistance à la carbonatation des bétons. Des comparaisons avec des bétons contenant du ciment Portland (CEM I) ne sont pas toujours possibles. Il n'y a pas ou que très peu de corrélation entre le coefficient de carbonatation et les paramètres physiques (résistance à la compression, porosité totale, perméabilité à l'eau et perméabilité aux gaz) ou chimiques (équivalent Na_2O soluble à l'eau et à l'acide et teneur en $\text{Ca}(\text{OH})_2$). Aucun de ces paramètres ne se prête à l'évaluation de la résistance à la carbonatation de bétons contenant différents ciments et/ou des additions. La résistance à la carbonatation d'un béton ne peut être évaluée qu'à l'aide d'un essai. Celui-ci est décrit dans la norme SIA 262/1, annexe I (en vigueur depuis le 1.8.2013) [2]. Des explications détaillées se trouvent sous [3].

2 Principe

La carbonatation du béton est une conséquence des réactions chimiques des composants alcalins de la pâte de ciment avec le dioxyde de carbone (CO_2) de l'air.

Les réactions ne se produisent qu'en présence de suffisamment d'eau. Dans ce cas, la valeur pH de l'eau interstitielle du béton d'initialement >12.5 s'abaisse à des valeurs entre 6

et 9 (selon la teneur en CO_2). Ceci entraîne une détérioration du milieu protecteur contre la corrosion de l'armature dans le béton. Le processus de la carbonatation du béton en fonction du temps peut être décrit par une simple loi \sqrt{t} reposant sur la loi de Fick (processus de diffusion). La loi \sqrt{t} (exposant de temps $b = 0.50$) n'est valable que si l'humidité relative de l'air et la température sont constantes. Ces conditions sont remplies en laboratoire et en général également lors de conditionnement intérieur. Lors de conditionnement extérieur non exposé aux intempéries, la température et l'humidité relative varient à grande échelle.

$$d_k = a + \sqrt{[\text{CO}_2]} K t^b$$

d_k	profondeur de carbonatation, mm
a	constante (prof. à $t=0$), mm
$[\text{CO}_2]$	concentration de CO_2 , %vol
K	coefficient de carbonatation, mm/jour ^b , mm/an ^b
t	temps, jours ou ans
b	exposant de temps

- a) cond. constantes (laboratoire, à l'intérieur): $b = 0.5$
- b) à l'extérieur, non exposé aux intempéries (XC3): $b < 0.5$
- c) à l'extérieur, exposé aux intempéries (XC4): $b \rightarrow 0$
- d) très sec (manque d'eau): $b \rightarrow 0$

La vitesse de carbonatation du béton dépend d'un grand nombre de facteurs. Les plus importants sont le type et la teneur en ciment et en additions (\rightarrow valeur pH de l'eau interstitielle, teneur en $\text{Ca}(\text{OH})_2$), le rapport E/C (\rightarrow porosité) et l'humidité du béton. Selon l'expérience, la plus grande vitesse de carbonatation se développe dans une plage d'humidité relative entre 50 et 70% environ. Un béton entièrement saturé en eau ne se carbonate pratiquement pas, car la vitesse de diffusion de CO_2 dans l'eau (interstitielle) est de 3 à 4 fois plus lente que dans le béton sec ou peu humide. Un béton très sec ne se carbonate pas, l'eau nécessaire à la réaction faisant défaut. Les vitesses de carbonatation et de corrosion, dépendantes de l'humidité de l'air, sont schématisées dans la figure 2. Celle-ci indique également les classes d'exposition correspondantes. Les endroits particulièrement menacés par la corrosion des armatures induite par la carbonatation sont les zones d'angle, les arêtes, les voies d'eau, les zones d'égouttement d'éléments de construction ou encore les éléments de construction de dimension réduite ainsi que les éléments fortement armés (par ex. colonnes).

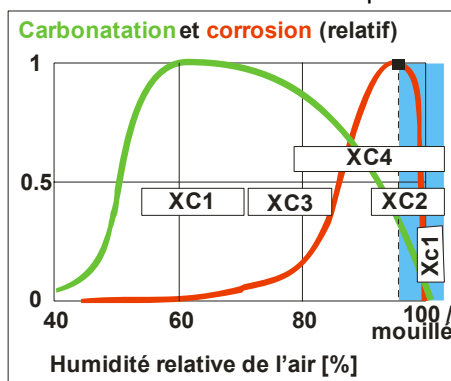
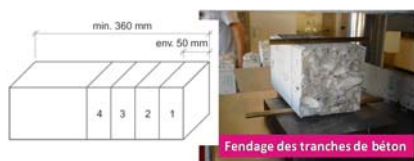


Fig. 2 : vitesse de carbonatation et de corrosion dépendant de l'humidité relative de l'air et zone des classes d'exposition XC1 à XC4 (schématisiquement).

3 Essai selon la norme SIA 262/1, annexe I

Le nouvel essai selon [2] est réalisé avec une teneur en CO₂ dans l'air de 4%. Il est effectué en premier lieu dans le cadre du contrôle de production interne du producteur de béton sur des prismes (120x120x360 mm). Alternativement, des carottes prélevées dans l'ouvrage (diamètre ≥ 50 mm, longueur ≥ 100 mm) peuvent être utilisées.

Les prismes sont soumis à traitement de cure jusqu'à l'âge de 3 jours (moule et conservation sous l'eau), puis pré-conditionnés dans l'air à des conditions d'exposition contrôlées. Après la mesure zéro à un âge de 28 jours, ils sont placés dans l'enceinte de carbonatation accélérée. Après 7, 28 et 63 jours, on procède aux mesures correspondantes. A chaque échéance de mesure, une tranche de béton d'environ 50 mm d'épaisseur est prélevée sur le prisme par fendage et la profondeur de carbonatation est déterminée en plusieurs points répartis sur toutes les faces latérales, selon la norme SN EN 14630:2006 (fig. 3 et 4).



Fendage des tranches de béton



Figure 3 : essai de la résistance à la carbonatation par étapes.

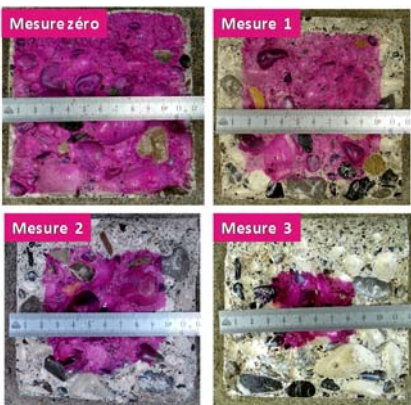


Figure 4 : mesure de la profondeur de carbonatation aux différentes échéances.

Le coefficient de carbonatation K_s est déterminé moyennant une régression linéaire (dans un diagramme avec abscisse \sqrt{t}) en se basant sur les profondeurs de carbonatation mesurées (fig. 5). Ensuite le coefficient de carbonatation correspondant à des conditions naturelles, K_N , est déterminé par calcul.

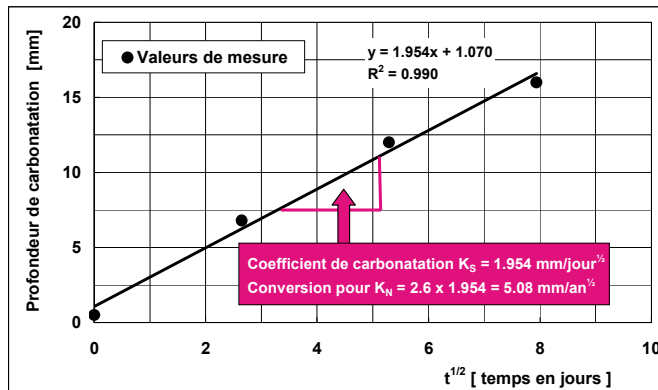


Figure 5 : détermination des coefficients de carbonatation K_s et K_N .

4 Valeurs limites

Pour l'évaluation de la résistance à la carbonatation, les valeurs limites pour les essais effectués dans le cadre du contrôle de production interne (CPI) sur des prismes sont définies dans les éléments nationaux NE à la norme SN EN 206-1/NE:2013. Les valeurs indiquées sont valables pour une conservation conforme à la norme et un âge de 28 jours au début de l'essai ainsi que pour l'enrobage de l'armature selon la norme SIA 262. Pour les essais sur des carottes prélevées dans l'ouvrage, les valeurs d'évaluation indicatives sont définies dans la norme SIA 262/1:2013.

Durée de service prévue	Coefficient de carbonatation, mm/ \sqrt{t}	
	CPI (prismes) [valeurs limites]	Carottes [valeurs indicatives]
50 ans	XC3 et XC4: $K_N \leq 5.0$	XC3 et XC4: $K_N \leq 5.3$
100 ans	XC3: $K_N \leq 4.0$ XC4: $K_N \leq 4.5$	XC3: $K_N \leq 4.3$ XC4: $K_N \leq 4.8$

Références

- [1] Norme SIA 162 (1956, 1968, 1989) et norme SIA 262 (2003, 2013)
- [2] Norme SIA 262/1, édition 2013
- [3] F. Hunkeler et L. Lammar, Exigences par rapport à la résistance à la carbonatation des bétons. Mandat de recherche GTP 2008/012 à la demande du groupe de travail recherche sur les ponts (GTP), rapport VSS No. 649, novembre 2012 <http://www.tfb.ch/fr/Publications.html>

Dr Fritz Hunkeler, Dr Pascal Kronenberg et Dr Théodore Chappex

NOS PROCHAINES JOURNÉES TECHNIQUES

- MARS**
18.03.2014 SIA 267
- MAI**
22.05.2014 Fissures dans le béton



THÈMES EN PERSPECTIVE

- Applications en microscopie
- Ouvrages en béton étanche (cuves blanches)
- Bétonner par températures élevées

NOTRE SUCCURSALE À CRISSIER / VD

Notre succursale à Crissier/VD est à votre disposition pour toute question concernant le béton. Outre les essais sur béton frais et durci réalisés par notre laboratoire accrédité, nos ingénieurs spécialisés sont à même de vous conseiller de manière compétente et neutre pour tout genre de problématique en rapport avec le béton. N'hésitez pas à nous solliciter !

Inscription: Compétences pour la construction, TFB AG,
062 887 72 77, schulung@tfb.ch, <http://www.bauundwissen.ch>