

Les adjuvants : BE

Autor(en): **Hermann, Kurt**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin du ciment**

Band (Jahr): **63 (1995)**

Heft 1

PDF erstellt am: **11.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-146367>

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.



Photo: archives du TFB

Lorsqu'il faut décoffrer après peu de temps, les BE peuvent être la solution.

Les adjuvants: BE

5^e partie

Les accélérateurs (BE) sont des adjuvants à action chimique, qui accélèrent la prise ou le durcissement du béton, ou de l'un et l'autre.

Les accélérateurs sont le sujet de la cinquième et dernière partie de la petite série sur les adjuvants dans le «Bulletin du ciment». Les parties précédentes ont été consacrées aux adjuvants en général [1], aux plastifiants (BV) et superfluidifiants (HBV) [2], aux entraîneurs d'air (LP) [3], ainsi qu'aux retardateurs (VZ) [4].

L'effet des accélérateurs

Les BE sont des adjuvants à action chimique, qui accélèrent la prise ou le durcissement du béton, ou de l'un et l'autre. Il faudrait donc à vrai dire distinguer entre accélérateurs de prise

et accélérateurs de durcissement, comme c'est le cas dans la prénorme européenne sur les adjuvants [5].

- Les retardateurs de prise sont des adjuvants «qui diminuent le temps de transition du mélange, pour passer de l'état plastique à l'état rigide».
 - Les accélérateurs de durcissement sont des adjuvants «qui accélèrent le développement des résistances initiales du béton, avec ou sans modification de la durée de prise».
- Les principales performances requi-

ses des BE, selon prEN 934.2 [5], sont résumées dans le *tableau 1*. Des informations concernant les antigels (FS), qui comptent également parmi les BE, sont données plus loin, dans l'encadré «Bétonnage à de basses températures».

Voici comment agissent les BE

Les processus qui se déroulent lors de la transformation du béton frais en béton durci ont été décrits en détail dans l'encadré «Raidissement,

Spécification	Performance
Accélérateur de prise	
Teneur en air (béton frais)	Pas plus de 2 % au-dessus de la teneur en air du béton de référence, sauf indication contraire du fabricant
Début de prise à 20 °C	Après 30 min au plus tôt
Début de prise à 5 °C	Réduction d'au moins 40 % par rapport au béton de référence
Résistance à la compression à 28 jours	Au moins 80 % du béton de référence
Résistance à la compression à 90 jours	Valeur minimale mesurée à 28 jours
Accélérateur de durcissement	
Teneur en air (béton frais)	Pas plus de 2 % au-dessus de la teneur en air du béton de référence, sauf indication contraire du fabricant
Résistance à la compression à 24 heures (20 °C)	Au moins 120 % du béton de référence
Résistance à la compression à 28 jours (20 °C)	Au moins 90 % du béton de référence
Résistance à la compression à 48 heures (5 °C)	Au moins 130 % du béton de référence

Tab. 1 Performances requises des accélérateurs de prise et de durcissement selon prEN 934.2 [5].

En utilisant des BE pour la fabrication de tubings, on économise de l'énergie, car il faut moins fortement chauffer le béton.



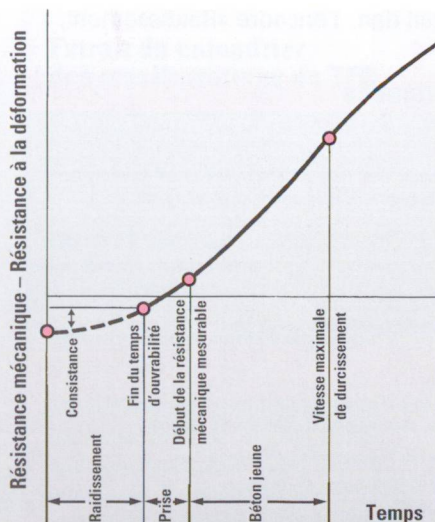
Photo: Sika SA, Zurich

prise et durcissement du béton», de l'article sur les retardateurs [4]. A titre d'aide, la *figure 1* que contient cet encadré a également été intégrée au présent article. Elle fait voir de manière qualitative les phases successives du développement de la résistance d'un béton.

Les accélérateurs de prise réduisent le temps s'écoulant entre la fin de l'ouvrabilité du béton frais et le début de la résistance mesurable, alors que les accélérateurs de durcissement réduisent principalement les phases du béton jeune. Plus simplement, les réactions de l'aluminat tricalcique (C_3A) sont déterminantes pour le comportement d'un béton lors de la prise, alors que celles du

silicate tricalcique et dicalcique (C_3S , C_2S) le sont pour le développement de sa résistance. Les BE influent sur ces réactions. Nous devons renoncer à parler ici des mécanismes d'action de l'accélération, car ils ne sont que partiellement connus. Il y a en outre de grandes différences entre les BE utilisés pour le béton projeté et les BE utilisés dans d'autres domaines.

- bétonnage avec courts délais pour le décoffrage
- bétonnage dans des eaux courantes
- réduction du temps de prise lors de reprofilages et réparations
- étanchement rapide d'infiltrations d'eau et de coups d'eau au moyen de suspensions de ciment et de mortiers de ciment



Béton de construction accéléré

L'utilisation de BE (ou de ciments spéciaux!) est judicieuse lorsqu'un avancement rapide des travaux, ou des considérations techniques, exigent une prise ou un durcissement rapide du béton. Mis à part le béton projeté, les principaux domaines d'utilisation sont les suivants [6]:

- bétonnage à de basses températures

Pour les applications énumérées, on utilise généralement des accélérateurs de durcissement. Quant aux accélérateurs de prise, ils sont utiles pour le béton projeté et le béton immergé.

Les accélérateurs de durcissement sans action accélératrice de prise augmentent la résistance initiale, mais offrent une ouvrabilité relativement longue, car seule l'hydratation de C_3S et de C_2S est accélérée. Comme accélérateurs de durcissement, on utilise principalement le formiate de calcium, le nitrate de cal-

Fig. 1 Phases réactionnelles d'un béton frais plastique (schéma) selon [13].

cium et le sulfate d'aluminium [6]. Contrairement au chlorure de calcium (voir encadré «Le plus ancien adjuvant du béton»), ces substances ne corrodent pas l'acier. La diminution de la résistance finale du béton était un gros inconvénient des accélérateurs des anciennes générations. Aujourd'hui, on trouve dans le commerce des produits ne présentant plus cet inconvénient.

De nombreux paramètres influent sur l'efficacité des BE. Les plus importants sont [6]:

- le dosage (un dosage de BE plus élevé entraîne généralement une plus forte accélération); les dosages usuels sont de 0,5 à 2 % de la masse du ciment, ajoutés directement à l'eau de gâchage;

Le plus ancien adjuvant du béton

Le chlorure de calcium est le plus ancien adjuvant du béton. En 1886 déjà, il a été mentionné dans un article de *E. Candelot* sur «Le ciment à prise rapide» [13]. Il s'utilise en quantité maximale de 2 % de la masse du ciment, et non seulement il est bon marché, mais il permet également des augmentations de la résistance initiale de l'ordre de 100 à 200 %, selon le ciment, et il n'entraîne souvent que de très légères diminutions des résistances finales. Son action repose sur l'accélération de l'hydratation aussi bien des phases C_3A que des phases C_3S .

Le chlorure de calcium ne convient toutefois pas comme antigel, car il s'utilise en concentration trop faible. Son domaine d'utilisation en tant qu'accélérateur est également des plus restreints, car il favorise la corrosion de l'acier et, de ce fait, ne peut pas être utilisé pour le béton armé et le béton précontraint.

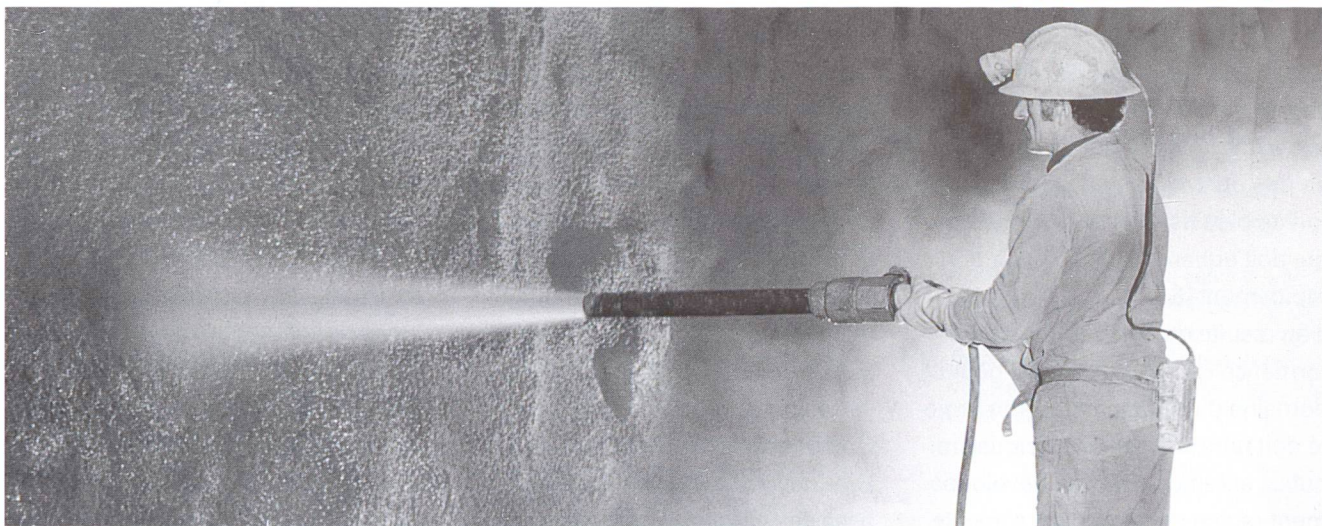
- la température (diminution de l'effet d'accélération lorsque la température baisse);
- le ciment (sorte, âge et température).

En ajoutant des BE, on peut souvent obtenir la teneur en air voulue avec une moindre quantité d'entraîneur d'air. Mais les pores sont alors parfois plus gros, et les facteurs d'espacement plus élevés, ce qui a pour

conséquence favorable la possibilité de réduire le facteur e/c par rapport à un béton non accéléré. Ajoutons encore que le béton avec BE peut témoigner d'un retrait plus élevé que le béton non accéléré [15].

Il faut retenir que les BE ne sont pas seuls à permettre des développements accélérés de la résistance initiale. Souvent, des ciments Portland à haute résistance (CPHR), dont la résistance est plus élevée à 28 jours, des facteurs e/c plus bas, ou des traitements thermiques, donnent les mêmes résultats, ou des résultats encore meilleurs (pas de diminution de la résistance finale).

Pour les applications de béton projeté dans la construction de tunnels, on travaille fréquemment avec des accélérateurs de prise.



Bétonnage à de basses températures

L'hydratation du CP se compose de réactions exothermiques entre le ciment et l'eau, qui commencent immédiatement après le malaxage, et durent plusieurs années. Pendant le développement de la résistance initiale à la compression, le béton est continuellement échauffé par la chaleur se formant à l'intérieur. Le degré d'échauffement dépend de la rapidité du développement de chaleur et de la quantité de chaleur cédée à l'environnement. La rapidité des réactions chimiques dépend de la température: plus la température est basse, plus la réaction est lente. Cela s'applique également à l'hydratation. Pour des raisons pratiques, on part de l'hypothèse que la réaction s'interrompt à partir de $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ environ, car il ne reste alors que peu d'eau non gelée ($< 5\%$) pour la réaction chimique. Lorsque la température monte, l'hydratation recommence. S'il se forme de la glace au stade initial du développement du béton, ce dernier ne peut plus atteindre qu'environ la moitié de la résistance finale prévue, ce qui est dû à une augmentation de volume de quelque 9% de l'eau interstitielle gelée. Il en résulte des contraintes qui dépassent la résistance à la traction du béton jeune, et causent à celui-ci des dommages irréversibles.

Lors de bétonnage à de basses températures, on cherchera donc à conserver dans le béton la chaleur s'y développant, afin de pouvoir y maintenir une tempéra-

ture garantissant un développement convenable de la résistance à la compression, et empêchant l'eau de geler.

Lors de la mise en place, la température du béton doit être d'au moins $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (chauffer éventuellement l'eau de gâchage et les granulats). Le béton ne doit pas être mis en place sur un fond gelé, et les coffrages doivent être exempts de neige et de glace. Lorsque les températures extérieures ne sont pas trop basses, il suffit d'isoler le coffrage et les surfaces de béton exposées, pour maintenir le béton à une température suffisante. Avec des températures très basses, il est généralement nécessaire de recourir à des sources externes pour chauffer le béton. Une autre solution est d'ajouter des anti-gels (FS) qui, d'une part, abaissent le point de congélation de l'eau, et d'autre part accélèrent l'hydratation du ciment, ce qui chauffe le béton. (Théoriquement, le béton s'hydrate également à $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, si l'eau interstitielle ne cristallise pas.) Une fois que le béton a atteint une résistance à la compression de 10 N/mm^2 et plus, le froid ne peut plus lui nuire, car il résiste à la congélation.

Les BE «normaux» ne conviennent pas comme FS, car ils n'abaissent pas suffisamment le point de congélation de l'eau. On utilise par exemple comme FS du nitrite de sodium ou de calcium, seul ou en combinaison.

Principale source: [16]

Béton projeté accéléré

En ce qui concerne l'utilisation d'accélérateurs dans le béton projeté, les opinions divergent. Les experts s'accordent cependant pour trouver judicieuse l'utilisation de BE pour la couche de confinement dans les ouvrages souterrains. Il faut ici appliquer en une opération une couche de béton de plus de 15 cm d'épaisseur, qui doit adhérer, et également durcir rapidement [6, 7].

Il en résulte qu'une importante performance est requise des BE pour ce domaine d'utilisation: le béton projeté doit faire sa prise en quelques minutes, et témoigner d'un développement rapide de la résistance initiale.

Autrefois, on utilisait principalement à cet effet des BE à base de silicates alcalins, que l'on appelle «verre soluble» et dont l'action repose plus sur un effet agglutinant que sur la prise rapide du béton [11]. Ces BE doivent en outre être utilisés en très forte concentration ($\geq 15\%$, par rapport à la masse du ciment). Par rapport à un béton non accéléré, ils diminuent la résistance finale de 50% et plus, et font également problème sur le plan écologique [11, 12]. C'est pourquoi l'on renonce de plus en plus au verre soluble.

On obtient de meilleurs résultats avec des accélérateurs de prise à base de carbonates alcalins (carbo-

nate de potassium), d'hydroxydes alcalins ou d'aluminates alcalins. Il semble que les plus fréquemment utilisés sont les aluminates alcalins, en poudre ou liquides, qui sont efficaces même en faibles concentrations (habituellement quelque $3\text{--}5\%$ de la masse du ciment). Le dosage doit être très soigneusement adapté aux performances requises du béton projeté. L'adjonction se fait dans la lance ou dans un amortisseur d'oscillations, sous forme de solution concentrée pour la projection par voie mouillée, et dans l'eau projetée pour la projection par voie sèche. En utilisant des aluminates alcalins au lieu de verre soluble, on améliore également le comportement au lessivage du béton projeté, qui est moins bon qu'avec un béton «normal» [12].

Dans la construction de tunnels, le béton projeté entre relativement souvent en contact avec de l'eau séléniteuse, ce qui peut provoquer un gonflement (réaction entre ions de sulfate et aluminates hydratés formant l'ettringite), avec destruction de la structure. On y remédie fréquemment en utilisant un ciment à haute résistance aux sulfates (CPHS ou CPHS-HR), dont la teneur en C_3A est faible [17]. Mais la concentration d'accélérateur de prise contenant des aluminates doit alors être augmentée

Remerciements

Pour la rédaction des articles sur les adjuvants, je n'ai pas été aidé uniquement par des collaborateurs du TFB. J'ai surtout pu compter sur les précieuses suggestions et les critiques constructives de Messieurs *Ernesto Schümperli* (Sika, Zurich), *Willi Suter* (Holderchem Euco, Kirchberg) et *Ulrich Wäber* (Sika, Zurich).

pour obtenir une rapidité de prise suffisante. Cette concentration ne doit cependant pas être trop élevée, car avec les ions de sulfate, les aluminates forment également de l'ettringite. Une solution possible est

d'ajouter de la microsilice, laquelle permet de réduire la concentration de BE et d'obtenir un béton plus dense, qui fait écran à l'aluminate réactif [11]. Nous avons déjà donné des informations dans le précédent «Bulletin du ciment» sur un développement récent [4]: il est possible, au moyen d'un retardateur spécial, appelé stabilisateur, de stabiliser des mélanges secs ou du béton frais pendant plusieurs jours, et de les réactiver dans la lance lors de la projection par voie sèche ou mouillée, au moyen d'un accélérateur spécial, appelé activateur [8].

On compte également parmi les nouveaux développements des BE moins agressifs – sels neutres inorganiques ou substances organiques exemptes d'alcalis ou à réaction neutre – dont certains ne présentent aucun risque sur le plan physiologique, et n'irritent pas la peau. En quelque sorte comme bonus pour la plus faible concentration d'alcalis, on constate une plus faible chute de la résistance finale par rapport à un béton projeté avec accélérateur à base d'aluminates alcalins [9, 10].

Kurt Hermann

Bibliographie

- [1] Hermann, K., «Les adjuvants», Bulletin du ciment **62** [9], 2–7 (1994).
- [2] Hermann, K., «Les adjuvants: BV et HBV», Bulletin du ciment **62** [10], 2–7 (1994).
- [3] Hermann, K., «Les adjuvants: LP», Bulletin du ciment **62** [11], 2–7 (1994).
- [4] Hermann, K., «Les adjuvants: VZ», Bulletin du ciment **62** [12], 2–7 (1994).
- [5] prEN 934.2, «Adjuvants pour bétons, mortiers et coulins – Partie 2: Adjuvants pour bétons – Définition, spécifications et critères de conformité» (1992).
- [6] Brianza, M., «Betonzusatzmittel», documentation écrite pour le séminaire du TFB «Betonzusatzmittel und -zusatzstoffe» du 27 octobre 1994.
- [7] Teichert, P., «Spritzbeton», éditeur E. Laich SA, Avegno (1991), pages 46/47.
- [8] Fischer, H., «Steuerung der Zementhydratation von Spritzbeton», Schweizer Baublatt **102** [4], 26–32 (1991).
- [9] Bürge, Th., «Les accélérateurs pour béton projeté» dans «Tunnels et ouvrages souterrains – Sika», pages 4–9 (1991).
- [10] Bracher, G., «Nassspritzbeton – ökologisches und wirtschaftliches Qualitätsprodukt», Schweizer Baublatt **105** [76], 32–40 (1994).
- [11] Löschnig, P., «Erstarrungsbeschleuniger für Spritzbeton», documentation écrite pour le cours a Wildegg «Beton im Untertagebau» des 3/4 mars 1992.
- [12] Manns, W., e Neubert, B., «Spritzbeton mit Erstarrungsbeschleuniger», Beton **43** [1], 20–25 (1993).
- [13] Wierig, H.-J., «Frischbeton und Bauwerkqualität», Beton **33** [5], 175–179 (1983).
- [14] «Chemical admixtures for concrete», ACI Manual of Concrete Practice, part 1, pages 212.3R.10–212.3R.14 (1994).
- [15] Weigler, H., und Karl, S., «Beton – Arten, Herstellung, Eigenschaften», Verlag Ernst & Sohn, Berlin (1989), pages 78–79.
- [16] Korhonen, C. J., Cortez, E. R., and Charest, B. A., «Strength development of concrete cured at low temperature», Concrete International **14** [12], 34–38 (1992).
- [17] Hermann, K., «Dégâts du béton dus à l'agression des ions de sulfate», Bulletin du ciment **60** [4] (1992).
- [18] Dodson, V., «Concrete Admixtures», Van Nostrand Reinhold, New York (1990), pages 73–102.