

# Les adjuvants : BV et HBV

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

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin du ciment**

Band (Jahr): **62 (1994)**

Heft 10

PDF erstellt am: **18.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-146348>

## **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.

# Les adjuvants: BV et HBV

Nous continuons par un article sur les BV et HBV la série consacrée aux adjuvants, commencée dans le précédent numéro du «Bulletin du ciment».

## 2<sup>e</sup> partie

Les superfluidifiants (HBV) sont les adjuvants les plus fréquemment utilisés, en Suisse comme ailleurs. Comme les plastifiants (BV), ils réduisent l'exigence en eau ou améliorent l'ouvrabilité, ou font l'un et l'autre. Les HBV conviennent en outre pour la fabrication de béton à consistance fluide (béton fluidifié); c'est pourquoi leur abréviation en Allemagne est «FM» (Fließmittel).

Une grande partie de ce qui suit sur les HBV s'applique également au BV, mais dans une moindre mesure. Cela ressort par exemple des performances requises de ces deux adjuvants quant à l'augmentation de la résistance à la compression pour le béton durci, et à la réduction d'eau pour le béton frais (tableau 1). Ces indications figurent dans prEN 934-2 [1], un projet de norme qui, s'il devient une norme européenne, sera également applicable en Suisse. On peut retenir comme règle générale que les BV

peuvent souvent être remplacés par des HBV en plus faibles concentrations, mais que des dosages plus élevés de BV ne peuvent pas remplacer les HBV. Les HBV (et dans une moindre mesure les BV) permettent d'obtenir différents effets, qui se répercutent de façon positive sur les propriétés du béton frais ou du béton durci, ou des deux. Les effets les plus importants ressortent de la figure 1 [2]:

- *Flèche 1*: Forte fluidification du béton (augmentation de l'étalement) avec une même teneur en ciment et en eau, ou un même facteur eau/ciment (facteur e/c), ce qui, exprimé plus simplement, correspond à une meilleure ouvrabilité avec une qualité du béton durci identique.
- *Flèche 2*: Maintien d'une consistance donnée (ouvrabilité), mais réduction de la teneur en eau avec un dosage en ciment constant (facteur e/c plus bas), ce qui entraîne de meilleures propriétés du béton durci (résistances, durabilité, retrait).
- *Flèche 3*: Combinaison des effets précédents, par réduction du fac-

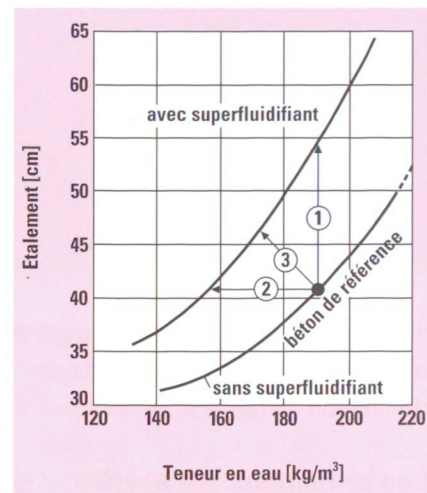


Fig. 1 Action des fluidifiants (voir texte) [2].

teur e/c (moins d'eau) et, simultanément, augmentation de la consistance du béton frais, ce qui signifie meilleure ouvrabilité et meilleures propriétés du béton durci.

C'est surtout lorsqu'on les utilise pour réduire le facteur e/c d'un mélange de béton donné, en réduisant la teneur en eau, que l'on tire profit des propriétés positives des BV et HBV (voir aussi tableau 1): en dehors de l'effet fluidifiant, l'augmentation des résistances initiale et finale est particulièrement importante. L'accroissement de la résistance à la compression peut alors être supérieur à ce que l'on pourrait attendre après avoir réduit le facteur e/c. Cet effet est peut-être dû à une plus grande efficacité de l'hydratation du ciment [3], et la répartition plus régulière du ciment dans la matrice du béton a en outre des répercussions avantageuses. Dans la norme SIA 162 ([4], tableau 25), il est en outre fait mention des influences positives suivantes des HBV: réduction de la porosité,

Propriété	Performances BV	Performances HBV
Résistance à la compression en % du béton de référence	110 % (après 7 jours) 110 % (après 28 jours)	140 % (après 1 jour) 115 % (après 28 jours)
Réduction d'eau en % du béton de référence (même consistance initiale)	5 %	12 %
Amélioration de la consistance (même facteur e/c, consistance initiale 380 mm)	—	160 mm
Déclin de l'effet fluidifiant sur la consistance initiale	—	min. 30 min

Tab. 1 Performances requises des adjuvants selon prEN 934-2 [1].

amélioration de la résistance au gel et aux sels de déverglaçage, ainsi que diminution du retrait et du fluage.

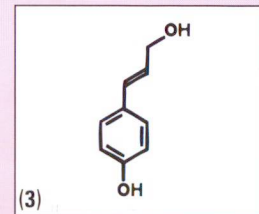
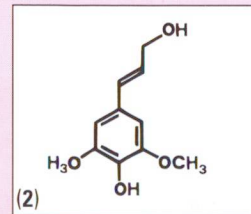
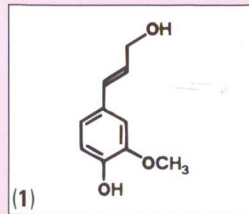
### Les principaux BV et HBV

La composition chimique des principaux BV et HBV est très complexe, car il s'agit de polymères dont la constitution peut varier. Ils peuvent provenir de produits naturels modifiés chimiquement (sulfonates de lignine) ou être fabriqués par synthèse (sulfonates de mélamine et de naphthalène, ainsi que les composés polyvinyliques synthétiques encore relativement peu répandus). D'autres informations sur la fabrication et certaines propriétés sélectionnées des HBV et BV les plus fréquemment utilisés figurent dans l'encadré «Les principaux BV et HBV».

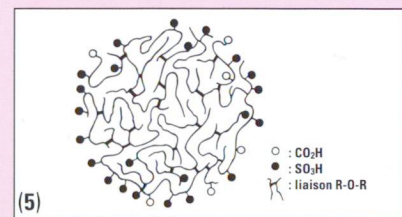
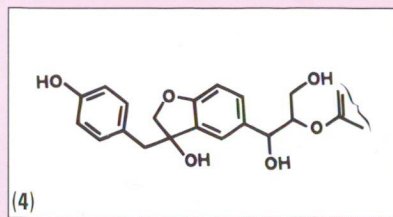
Les *sulfonates de lignine* agissent en tant que plastifiant du béton frais même en faibles concentrations: 0,2 à 0,5 % d'une solution aqueuse à 30 % (rapporté à la teneur en ciment) suffisent dans de nombreux cas. Mais ils retardent l'hydratation du ciment et ont tendance à former des bulles d'air, particulièrement lorsqu'ils contiennent une relativement grande quantité de sucre sous forme d'impuretés. L'air entraîné peut se présenter sous forme de grosses bulles, qui ne favorisent guère la résistance du béton au gel et aux fondants chimiques

## Les principaux BV et HBV

Les *sulfonates de lignine* sont des sels des acides sulfoniques de lignine, qui sont produits lors de la fabrication de papier ou de cellulose par dissolution acide des sulfites. Leur degré de polymérisation est inégal. Les masses moléculaires se situent entre 5000 et 100 000, selon le produit de départ et le procédé de fabrication. Les éléments constitutifs de la lignine sont l'alcool coniférylique (1), l'alcool sinapique (2) et l'alcool coumarylique (3) [13].



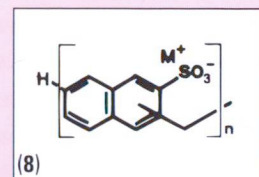
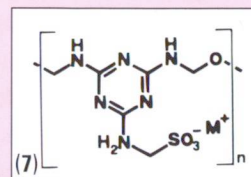
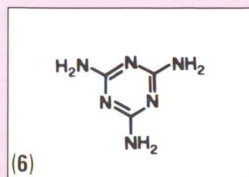
Les alcools 1 à 3 sont reliés entre eux d'au moins dix manières différentes. L'unité fondamentale des lignines et de leurs dérivés est 4, et celle des sulfonates de lignine, représentée schématiquement d'une manière très simplifiée, est 5 [14].



Les sulfonates de lignine sont souillés par d'autres substances contenues dans le bois, telles que sucre, produits de dégradation de la cellulose et lignine même. Pour pouvoir être utilisés sous forme de BV ou HBV, ils doivent être purifiés. On réussit ainsi à fabriquer des produits à peu près exempts de sucre.

Les sulfonates de lignine sont solubles dans l'eau. Techniquement, ils sont utilisés pour leur pouvoir liant et agglutinant, ainsi que pour leur caractère tensio-actif. On utilise comme plastifiants les sels de calcium ou de sodium des sulfonates de lignine.

Les *sulfonates de mélamine* (7) sont des polymères de la mélamine (6). Ils sont fabriqués industriellement par des méthodes de synthèse simples. La masse moléculaire moyenne des produits ultimes (sels de sodium) est de 30 000.



Les *sulfonates de naphthalène* (8) ont été utilisés avant la Seconde Guerre mondiale déjà, mais leur prix élevé ne leur a pas permis de s'imposer. Ce n'est qu'en 1960 qu'ils ont réapparu sur le marché japonais, sous la désignation de HBV.

On utilise sous forme de HBV des sulfonates de calcium ou de naphthalène de sodium, dont le degré de condensation  $n$  moyen devrait se situer autour de 8. Des valeurs  $n$  trop basses conduisent à des sulfonates de naphthalène qui réduisent la tension superficielle de l'eau, et introduisent de l'air dans le béton [5].

[6]. C'est pourquoi les sulfonates de lignine sont souvent combinés avec des antimousses, lesquels rendent toutefois plus difficile l'utilisation simultanée d'entraîneurs d'air (LP). Les sulfonates de lignine ne conviennent pas pour le béton utilisé pour la production d'éléments préfabriqués.

Il est cependant tout à fait possible que l'effet secondaire de retardateur de prise soit désiré pour le béton prêt à l'emploi.

*Sulfonates de mélamine.* Les dosages sont relativement élevés (> 1 % d'une solution aqueuse à 30 %, rapporté à la teneur en ciment). Avec des do-

Mise en place  
de béton étanche  
à l'eau contenant  
des HBV.



5

Photo: Sika

sages plus élevés, on peut obtenir, en plus d'une consistance molle du béton frais, un certain effet agglutinant, qui provoque une bonne cohésion du béton, sans que celui-ci colle au coffrage [5]. Contrairement aux sulfonates de lignine, les sulfonates de mélamine ne retardent pas la prise. Certains produits accélèrent même l'hydratation du ciment.

Les sulfonates de mélamine conviennent pour la fabrication de bétons à résistance initiale élevée dans les usines d'éléments préfabriqués et dans la construction routière (combinées avec un LP), où l'effet agglutinant mentionné contribue en outre à ce que les bulles d'air tiennent mieux dans le béton, et n'en soient pas chassées.

Les sulfonates de naphthalène sont de très bons HBV, déjà efficaces en faibles concentrations (0,2 à 0,5 % d'une solution aqueuse à 30 %, rapporté à la teneur en ciment). Ils ne retardent guère l'hydratation du ciment, et ne sont pas entraîneurs d'air.

Les sulfonates de naphthalène s'avèrent bons pour la production d'éléments préfabriqués et, combinés avec des sulfonates de mélamine, également pour le béton routier fluidifié, lorsque l'on tient à décoffrer dans de brefs délais.

Les combinaisons de sulfonates de mélamine ou de naphthalène avec des

sulfonates de lignine sont également avantageuses. Elles permettent d'une part de réduire les coûts et, d'autre part, de retarder légèrement la prise grâce au sucre contenu dans le sulfonate de lignine, ce qui assure une ouvrabilité de plus longue durée.

En dehors de ces trois types principaux, on connaît de nombreux autres composés utilisables comme HBV, ou tout au moins comme BV. Les polyacrylates, sulfonates de polystyrène et polymères de dérivés d'acide maléique, c'est-à-dire des composés polyvinyliques, en sont des exemples. Mais ces produits n'ont de loin pas l'importance des trois types principaux, et c'est pourquoi nous n'en traiterons pas plus avant ici.

### Influences exercées sur l'action des BV et HBV

Dans le béton frais, les effets des BV et HBV sont principalement de nature physique, ce qui veut dire qu'ils n'influencent pas, ou que peu, l'hydratation du ciment. Il est traité plus en détail de ces phénomènes complexes, expliqués partiellement seulement, dans l'encadré «Mécanismes d'action des HBV». Il n'est pas nécessaire de les connaître pour comprendre ce qui va suivre.

De nombreux facteurs influencent l'action des BV et HBV. On compte parmi les plus importants:

- les adjuvants (type et fabricant, quantité et mode de dosage)
- le ciment (composition, finesse et dosage)
- la teneur en eau
- les granulats (forme et grosseur des grains)
- la température du béton frais
- le système d'adjonction et de malaxage
- la consistance du béton

Cette énumération fait comprendre qu'il n'est pas possible de formuler des prescriptions générales pour le dosage d'un HBV donné. Le dosage doit plutôt être déterminé par des essais préliminaires exécutés dans des conditions aussi proches que possible de la réalité, ainsi que le prescrit la norme SIA 162 [4].

### Dosage des BV et HBV

L'efficacité des sulfonates de mélamine et de naphthalène reste élevée pendant environ une demi-heure après l'adjonction; elle diminue ensuite rapidement (celle des sulfonates de mélamine plus rapidement que celle des sulfonates de naphthalène) et peut disparaître complètement après 45 à 90 minutes. Les sulfonates de lignine sont efficaces plus longtemps, mais leur activité faiblit au début plus fortement que celle des autres HBV. De nouveaux produits spéciaux (polymères vinyliques sulfonés [7]),

## Mécanismes d'action des HBV

Les particules de ciment ont une forte tendance à flocculer dans l'eau. Cela est dû aux interactions de van der Waals entre particules, aux interactions électrostatiques entre points à charge opposée, ainsi qu'aux molécules d'eau provoquant la formation de ponts.

Une partie de l'eau peut être «prise au piège» dans le réseau ouvert résultant de la floculation (fig. A). Cette eau n'étant plus à disposition pour l'hydratation superficielle des particules de ciment et pour fluidifier, le béton frais durcit. L'adjonction d'un HBV permet de défloculer les particules de ciment et de bien les disperser, c'est-à-dire de bien les répartir (fig. B).



A



B

Représentation schématique à deux dimensions des particules de ciment à l'état floculé (A), et sous forme de dispersion (B) après l'adjonction d'un HBV.

La défloculation ne suffit toutefois pas à expliquer l'effet fluidifiant et dispersant des HBV. Parmi les autres influences dont il est question dans les publications citées dans la bibliographie, on trouve :

- la réduction de la tension superficielle de l'eau
- l'induction d'une répulsion électrostatique entre particules
- la formation d'un film lubrifiant entre les particules de ciment
- l'empêchement de l'hydratation superficielle des particules de ciment, ce qui laisse une plus grande quantité d'eau pour fluidifier
- la modification de la morphologie des produits d'hydratation (p. ex. ettringite)
- l'interruption du contact entre particules grâce à l'empêchement stérique induit

L'effet fluidifiant des HBV est probablement dû à plusieurs de ces phénomènes. L'état actuel des connaissances en la matière peut se résumer comme suit : la floculation est due principalement aux forces de van der Waals et aux forces électrostatiques. L'adsorption des particules de HBV chargées sur la surface des particules de ciment engendre des forces répulsives, plus grandes que les forces attractives ; les particules sont dispersées, et leur réagglomération est empêchée. D'autres effets, tels que la modification du processus d'hydratation du  $C_3A$  due aux sulfonates de naphthalène, jouent également un rôle positif.

La concentration des molécules actives des HBV aux interfaces des particules de ciment et de l'eau diminue régulièrement, car les agents actifs sont partiellement fixés dans les produits d'hydratation. C'est pourquoi l'effet fluidifiant des HBV diminue aussi progressivement.

(Source: [15])

agissant plus longtemps, doivent permettre d'y remédier.

Les BV et HBV sont généralement introduits dans le malaxeur en même temps que l'eau de gâchage, ou un peu après. En Suisse, on utilise habituellement des HBV-VZ en été, et des HBV en hiver.

Il est tout à fait possible de procéder à un second dosage des HBV sur le chantier, mais cela ne se fait en général que dans les cas de retards imprévisibles de la mise en place du béton [8]. Pour quelques produits, il est

même conseillé de ne les introduire dans le malaxeur qu'une fois le camion arrivé sur le chantier. Il faut ensuite malaxer pendant au moins une minute par  $m^3$  de béton frais. Mais un temps de 5 minutes est un peu juste pour une bétonnière de  $5 m^3$  de contenance. Il faut donc légèrement prolonger la durée du malaxage. Cette opération doit absolument être contrôlée au moyen d'une montre, car on sait par expérience que les durées de malaxage fixées au jugé sont trop courtes, et il peut en résulter une

ségrégation [8]. A retenir aussi : il ne faut jamais ajouter de l'eau pour fluidifier un béton qui, au moment de le mettre en place, a déjà durci au point de n'être plus malléable ! Il est en revanche souvent possible de redonner à un béton la consistance désirée en ajoutant dans le malaxeur un HBV approprié, à condition d'avoir effectué les essais préliminaires voulus.

### Aspects écologiques

La plupart des BV et HBV sont sans classe de toxicité, ou entrent dans la classe de toxicité 4. Les difficultés rencontrées pour rassembler des données d'écologie sur les adjuvants ont déjà été mentionnées [9]. Les indications qui suivent proviennent à peu près exclusivement d'une publication éditée en Allemagne par l'Industrieverband Bauchemie und Holzschutzmittel [10]. Les indications les plus importantes sur la toxicité des BV et HBV sont résumées dans le tableau 2. Il en ressort que la biodégradabilité est en fait le talon d'Achille des HBV. Il faut cependant établir que ces adjuvants sont rapidement extraits de l'eau par absorption et solidement incorporés dans la matrice de ciment [10].

Dans le rapport mentionné, il est en outre établi que, «en cas de recyclage du béton, aucune difficulté ne fait obstacle à la réutilisation de l'ancien

Superfluidifiants	Toxicité pour l'homme	Effets génétiques	Toxicité pour les poissons	Biodégradabilité
Sulfonates de lignine	n'irritent ni la peau ni les muqueuses (expériences sur des animaux)	aucune propriété modifiant le patrimoine génétique	aucune	moyennement bien biodégradable
Sulfonates de mélamine	faiblement toxique en cas d'aspiration par la bouche, irritant légèrement la peau et les muqueuses en concentrations élevées	pas de propriétés modifiant le patrimoine génétique	faible	difficilement biodégradable
Sulfonates de naphthalène	n'irritent pas la peau, légère irritation en cas de contact avec les yeux		faible	difficilement biodégradable

Tab. 2 Propriétés toxiques des principaux types de HBV [10].

béton. Les premiers résultats provisoires de la recherche fondamentale dans ce domaine confirment les bonnes expériences faites dans la pratique.» Il est toutefois certainement nécessaire de faire d'autres recherches.

### Béton à hautes performances

La fabrication de bétons à hautes performances n'est possible qu'en utilisant des HBV. Les bétons à hautes

performances sont plus que des bétons à haute résistance [11, 12]: en dehors d'une résistance à la compression élevée, ils témoignent d'autres propriétés intéressantes, telles que modules d'élasticité élevés, grande étanchéité, faible perméabilité, ainsi qu'excellente résistance aux influences de l'environnement.

Une teneur en ciment relativement élevée, la présence de silicafume, ainsi qu'un bas facteur e/c (< 0,35) sont

des caractéristiques typiques d'un béton à hautes performances. Avec l'adjonction de HBV, la consistance du béton frais est de molle à fluide. On rencontre toutefois relativement souvent des problèmes de compatibilité entre HBV et ciment [12]. Des combinaisons qui se sont avérées bonnes avec des facteurs e/c de 0,5 ne «fonctionnent» pas automatiquement aussi avec des facteurs e/c plus bas. Ce problème ne peut pour le moment être résolu que par des essais préliminaires.

Les maisons-tours et les ouvrages d'art sont les domaines d'utilisation typiques des bétons à hautes performances. Citons en exemple le «South Wacker Drive», immeuble-tour commercial de Chicago achevé en 1990, qui, avec ses 65 étages, est probablement le plus haut bâtiment en béton. De la formule du béton, on sait ceci [11]: 360 kg de ciment/m<sup>3</sup> (valeur Blaine 3900 cm<sup>2</sup>/g), 58 kg silicafume/m<sup>3</sup>, facteur e/c environ 0,32 et étalement environ 60 cm, c'est-à-dire consistance fluide (aucune indication ne figure dans la publication sur les HBV utilisés). Le béton a été mis en place au moyen de pompes à béton et de flèches de distribution, avec des débits allant jusqu'à 80 m<sup>3</sup>/h. Le béton correspondait à un B 100 (résistance à la compression 100 N/mm<sup>2</sup> après 28 jours) [11].

Kurt Hermann

### Bibliographie

- [1] prEN 934-2, «Adjuvants pour bétons, mortiers et coulis – Partie 2: Adjuvants pour bétons – Définitions, spécifications et critères de conformité» (1992).
- [2] Kern, E., «Anwendung von Betonzusatzmitteln – Arten, Eigenschaften und Einsatzgebiete», *Beton* **37** [9], 359–362 (1987).
- [3] «Chemical admixtures for concrete», *ACI Manual of Concrete Practice*, Part 1–1994, pages 212.3R-1 à 212.3R-31.
- [4] Norm SIA 162, «Ouvrages en béton» (1993).
- [5] Heinrich, W., et Bonder, W., «Über die Rohstoffe und Wirkungsweise von Betonverflüssigern», *Beton- und Stahlbetonbau* **78** [8], 218–220 (1983).
- [6] «Chemical admixtures for concrete», *Concrete International* **15** [10], 48–53 (1993).
- [7] Bürge, Th., «Der richtige Einsatz von Betonzusatzmitteln», documents écrits pour le cours de Wildegg «Betonzusatzmittel und Betonzusatzstoffe» des 13/14 mars 1991.
- [8] Antwerpen, P., et Hersel, O., «Verkehrsflächen aus Beton mit Fließmittel», *Beton* **39** [8], 336–340 (1989).
- [9] Hermann, K., «Les adjuvants – 1re partie», *Bulletin du ciment* **62** [9], 2–7 (1994).
- [10] «Betonzusatzmittel und Umwelt», rapport de l'Industrieverband Bauchemie und Holzschutzmittel e.V., Francfort-sur-le-Main (1993).
- [11] Kern, E., «Technologie des hochfesten Betons», *Beton* **43** [3], 109–115 (1993).
- [12] Aïtcin, P.-C. et Neville, A., «High-performance concrete demystified», *Concrete International* **15** [1], 21–26 (1993).
- [13] Zander, M., «Studie zur Nutzung von Lignin als Rohstoff für Chemieprodukte», Bundesministerium für Forschung und Technologie, rapport de recherche T 84–199, septembre 1984.
- [14] Rixon, M. R., et Mailvaganam, N. P., «Chemical Admixtures for Concrete», Editions E. & F.N. Spon, Ltd., Londres, 2e édition (1986).
- [15] Aïtcin, P.-C., Jolicoeur, C., et MacGregor, J. G., «Superplasticizers: How they work and why they occasionally don't», *Concrete International*, **16** [5], 45–52 (1994).