

Bétons à haute résistance initiale pour surfaces de roulement

Autor(en): **Werner, Rolf / Hermann, Kurt**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin du ciment**

Band (Jahr): **67 (1999)**

Heft 1

PDF erstellt am: **20.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-146486>

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.

Bétons à haute résistance initiale pour surfaces de roulement

Grâce aux progrès réalisés dans la technologie du béton, la réfection des surfaces de roulement qui ne doivent être fermées à la circulation que pendant un court laps de temps peut être aujourd'hui exécutée en quelques heures.

Lors de la remise en état de surfaces de roulement très fréquentées telles que les autoroutes, ainsi que de pistes d'envol et d'atterrissage d'aéroports et d'arrêts de bus, les temps de fermeture doivent être aussi courts que possible. Cela exige que les matériaux utilisés puissent être mis en place en peu de temps et atteignent rapidement les résistances nécessaires. C'est pourquoi, sur les routes en béton, les endroits dégradés sont souvent réparés avec du bitume. Il s'agit en général de réparations d'urgence superficielles, à moins que les dégradations touchent des dalles entières ou de grandes parties de dalles. L'effet de ces réparations est de durée limitée.

Si la transmission horizontale des forces entre les dalles est intacte, il ne faut pas remplacer des dalles isolées par des enrobés bitumineux, parce que les forces horizontales résultant des variations de température ne peuvent pas être transmises par le revêtement souple [1]. En cas de fort ensoleillement, les dalles en béton se dilatent et pressent sur l'enrobé bitumineux, lequel s'en trouve comprimé et se déforme.

Il n'est donc pas étonnant que l'on cherche depuis longtemps des procédés permettant des remises en état plus durables. Le plus simple était d'utiliser du béton. La constante



Remplacement de dalles: préparé pour le bétonnage.

Photos: Rolf Werner

amélioration de la technologie du béton a permis de mettre au point les procédés nécessaires, et c'est ce dont il est question dans cet article. Il n'y est toutefois pas traité des mortiers et bétons à base de liant synthétique, également utilisés pour les réparations.

Ce que l'on trouve dans les normes et autres directives

Les normes VSS applicables en Suisse contiennent peu de chose sur les remises en état rapides et les bétons à haute résistance initiale. Elles n'excluent toutefois pas ces possibilités. Sous chiffre 51 de la norme

SN 640 461 a [2], il est dit notamment: «Sur les revêtements fraîchement posés, le trafic (lourd) est interdit pendant 7 à 10 jours, à l'exception des appareils pour le fraisage des joints. Lorsque des mesures spéciales ont été adoptées, par exemple l'utilisation d'un béton à haute résistance initiale, ce délai peut être réduit en conséquence.»

Dans la norme SN 640 735 a [3], il est même prescrit que lorsque les surfaces de roulement doivent être ouvertes à la circulation très rapidement, il faut employer pour les réparations des bétons ou mortiers à haute résistance initiale.

Préparation de béton à haute résistance initiale au lieu d'utilisation.



On utilise généralement des bétons B 40/30 résistant au gel et aux sels de déverglaçage. On attache plus d'importance à la résistance à la traction par flexion de ces bétons – dont la valeur moyenne doit être de 5,5 N/mm² après 28 jours – qu'à la résistance à la compression dont ils témoignent. Les mesures sont effectuées sur des prismes normalisés.

En Allemagne, pour les remises en état, on se réfère généralement à la ZTV-StB 93 [4]. Les solutions qui y sont admises pour les chantiers où des engins lourds ne sont pas utilisables ou ne sont pas économiques sont les suivantes:

- béton routier à haute résistance initiale avec superfluidifiant (HBV)
- béton routier «mou» avec superfluidifiant.

Il faut signaler ici que le béton routier «mou» avec superfluidifiant ne peut être utilisé que dans des zones à très faible pente transversale et longitudinale. Le béton routier à haute résistance initiale est défini comme un béton qui, en raison de cette résistance, peut être soumis jeune déjà à de fortes sollicitations [4]. Il est exigé entre autres:

- étalement de 350-480 mm
- utilisation d'un ciment à haute résistance initiale (correspond à peu près à un CEM I 42,5 R)
- résistance à la compression

moyenne lors de l'ouverture à la circulation: 28 N/mm² (cube de 200 mm de côté).

Les travaux de remise en état de revêtements en béton sont généralement exécutés avec des bétons dont la résistance à la compression à 28 jours est de > 55 N/mm². Une résistance initiale plus faible suffirait toutefois, car de telles résistances à la compression ne sont pas toujours souhaitables pour les surfaces de roulement. Le critère important est de toute façon la résistance à la traction par flexion.

Formules pour des bétons à haute résistance initiale

Les bétons à haute résistance initiale pour surfaces de roulement doivent répondre à diverses exigences, parmi lesquelles:

- béton frais ouvrable suffisamment longtemps
- béton frais utilisable sur support humide
- résistance initiale suffisamment élevée

- faible retrait
- durabilité élevée (en particulier résistance au gel et aux sels de déverglaçage).

Satisfaire à de telles exigences n'est possible qu'en combinant des adjuvants et ajouts avec un ciment approprié, et des granulats propres soigneusement sélectionnés avec un béton à bas rapport e/c. Deux composants importants sont en l'occurrence généralement la fumée de silice [5] et un superfluidifiant (HBV) [6]. Un entraîneur d'air et, pour de longs trajets de transport, un retardateur de prise, sont le plus souvent également nécessaires.

La résistance au gel et aux sels de déverglaçage s'obtient en principe de deux manières. D'une part avec un béton très compact (fumée de silice), et d'autre part avec un béton dont la teneur en air se situe entre 4 et 6 %. Dans les régions germanophones, on mise largement sur les bétons aérés. En vue d'une utilisation pour la remise en état de routes en béton, on a par exemple examiné de plus près le

Matières premières		Quantités
Ciment Portland	CEM I 42,5 R	450 kg/m ³
Granulats	0-16 mm	1785 kg/m ³
Eau		150 kg/m ³
Fumée de silice	en suspension (7,8 % de la masse de ciment)	35 kg/m ³
Superfluidifiant (HBV)	naphtaline-sulfonate/résine mélamine (< 46 ml/kg ciment)	< 21 l/m ³
Retardateur de prise (VZ)	saccharose (4 ml/kg ciment)	2 l/m ³

Tab. 1 Composition d'un béton à haute résistance initiale selon [7].



Mise en place d'un béton à haute résistance initiale.

béton prêt à l'emploi figurant dans le *tableau 1* [7]. Le béton fabriqué était un béton très compact, sans air entraîné artificiellement. Ses valeurs caractéristiques à l'état de béton frais étaient les suivantes:

- étalement à la livraison 520 mm
- rapport e/c environ 0,42
- température 12 °C
- masse volumique apparente 2420 kg/m³.

Des résistances à la compression et à la traction par flexion respectivement de ≥ 24 et $\geq 5,5$ N/mm², qui auraient permis l'ouverture à la circulation, ont été atteintes après quelque 18 h (entreposage des éprouvettes à 20 °C) et après environ 40 h (2–5 °C). Le béton de cette composition a fait ses preuves lors de réfections localisées sur un pont autoroutier dans la région de Stuttgart.

Les bétons à haute résistance initiale exigent également un traitement de cure soigné. Comme pour les autres revêtements, c'est la cure en deux phases – aspersion avec un produit de cure et recouvrement avec des nattes isolantes – qui s'est imposée. Les nattes sont enlevées juste avant l'ouverture à la circulation.

Ouverture à la circulation

Lors de réfections urgentes, il est primordial de savoir quand les surfaces de roulement peuvent être

réouvertes à la circulation. Une règle aujourd'hui usuelle, et qui a fait ses preuves, tient compte de la résistance à la compression en fonction de la forme des dalles:

- dalles carrées: 60 % de la résistance à la compression à 28 jours exigée
- dalles d'autres formes: 70 % de la résistance à la compression à 28 jours exigée.

Avec ces données, les résistances à la traction par flexion nécessaires pour l'ouverture à la circulation sont également atteintes. Le moment de l'ouverture à la circulation peut être définitivement fixé au moyen d'éprouvettes confectionnées pendant la mise en place. L'avantage des éprouvettes en forme de prismes est qu'elles permettent de déterminer non seulement la résistance à la com-

pression, mais également la résistance à la traction par flexion.

Autoroutes

Sur la A2 dans le canton d'Uri, il a fallu, voici quelques années, remplacer des dalles défectueuses isolées. Les températures étaient basses. Pour la réparation, on a utilisé du béton prêt à l'emploi:

- B 40/30, résistant au gel et aux sels de déverglaçage
- 350 kg CEM I 52,5/m³
- rapport e/c moyen 0,40
- fumée de silice 6-8 % de la masse de ciment
- LP et HBV.

Le développement des résistances du béton à haute résistance initiale de la composition ci-dessus est représenté à la *figure 1*. La résistance à la

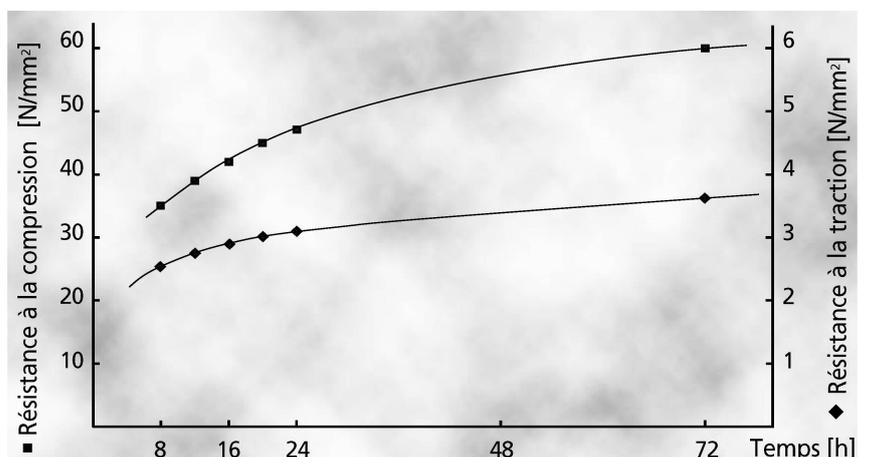


Fig. 1 Développement de la résistance à la compression et à la traction par flexion d'un béton de réparation à haute résistance initiale.

Graphique: TFB/Schück AG

Traitement de cure: recouvrement de l'endroit réparé, aspergé avec un produit de cure.



traction par flexion de $1,7 \text{ N/mm}^2$ exigée dans ce cas pour l'ouverture à la circulation a été atteinte manifestement très tôt, c'est-à-dire après moins de 8 h.

Signalons aussi qu'aux Etats-Unis, des ciments à prise extrêmement rapide et à haute résistance initiale ont été mis au point à la fin des années quatre-vingt déjà [8]. Des additifs spéciaux, tels que fluoroaluminat de calcium, font que les résistances nécessaires pour l'ouverture à la circulation sont atteintes 3–4 h déjà après la mise en place. En planifiant soigneusement les travaux, il est possible, avec ces ciments et additifs, de remplacer une dalle de béton isolée en 8 h, à compter de la fermeture de la voie de roulement à la réouver-

ture à la circulation. La réactivité élevée du béton frais exige que le béton soit préparé sur place et mis en place immédiatement.

En 1990, on a réparé en différents endroits de Suisse des chaussées en béton avec des ciments américains de ce genre [8], avec des temps de fermeture à la circulation aussi courts que ceux indiqués ci-dessus. Et les endroits réparés sont intacts aujourd'hui encore.

On peut maintenant obtenir ces ciments également en Europe. Ils sont utilisés principalement pour les réparations des surfaces de roulement d'aéroport.

Pistes d'aéroport

Pour la réfection d'une piste d'aéro-

port, on a exigé un béton témoin-gnant des propriétés suivantes:

- B 40/30, résistant au gel et aux sels de déverglaçage
- résistance à la traction par flexion lors de l'ouverture de la piste de $2,5 \text{ N/mm}^2$
- béton à base de ciment.

La réfection a été effectuée de nuit, et la piste devait être ouverte chaque matin à 10 heures.

L'entreprise à laquelle le travail a été confié a choisi comme liant un ciment spécial, dans lequel le superfluidifiant était déjà intégré. On n'a pas utilisé de fumée de silice, mais un entraîneur d'air (1,1 % de la masse de ciment). La teneur en air du béton frais était de 5,0 % du volume, et le rapport e/c de 0,44.

Le béton a été préparé au lieu de mise en place. Tous les composants, ainsi que le malaxeur et l'outillage, ont été préchauffés avec de l'eau chaude, et le béton mis en place a été protégé contre la perte de chaleur au moyen de nattes isolantes.

Avant d'ouvrir la piste, on a testé les surfaces réparées quant à leur résistance à la compression au moyen du scléromètre Schmidt. On a choisi ce procédé parce que les résistances initiales des surfaces réparées et des prismes échantillons ne pouvaient guère être comparées. Après 1 jour, les résistances à la traction par fle-

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Norme SN 640736: «Entretien des revêtements en béton – Remise en état et renforcement» (édition 1995).
- [2] Norme SN 640461 a: «Revêtements en béton» (édition 1994).
- [3] Norme SN 640735 a: «Entretien des revêtements en béton – Réparation» (édition 1996).
- [4] Commentaire concernant ZTV Beton-StB 93: «Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Beton», Kirschbaumverlag, Bonn (1993).
- [5] Hermann, K., «Les ajouts: les fumées de silice», Bulletin du ciment 63 [7], 3–7 (1995).

- [6] Hermann, K., «Les adjuvants: BV et HBV», Bulletin du ciment 62 [10], 3–7 (1994).
- [7] Manns, W., et Neubert, B., «Frühhochfester Beton für Verkehrsflächen – Untersuchungen zum Einsatz bei Reparaturmassnahmen», Beton 45 [5], 312–316 (1995).
- [8] «Beton erhärtet innerhalb von nur vier Stunden», Schweizer Baublatt 1990 [68], 40–42.
- [9] Grahke, C., et Moss, T., «Hochfester Beton im Strassenbau – Einsatz beim Bau der Autobahn E 6 in Schweden», Beton 44 [7], 372–375 (1994).

Utilisation apparentée

En Suède, on a mis en place un béton à haute résistance sur un tronçon d'autoroute très sollicité (autoroute E 6 entre Heberg et Längås) [9]. Une résistance élevée au gel et aux sels de déverglaçage ainsi qu'une bonne résistance à l'abrasion (spikes!) étaient exigées. Le béton finalement utilisé contenait 5 % de fumée de silice (par rapport à la teneur en ciment), avait un rapport e/c de 0,36, et une teneur en air de 5–6 %. La résistance à la compression du revêtement était supérieure à 80 N/mm².

La structure choisie était la suivante:

- infrastructure servant de couche antigel, composée de gravillon (50 cm) et gravier (5 cm)
- couche de support à liant hydraulique (15 cm)
- béton inférieur B 80 (16 cm, gravillon)
- béton supérieur B 80 (6 cm, durasplit avec diamètre maximum de grain 22 mm)
- béton mis en place en deux couches frais sur frais
- retardateur de prise appliqué par aspersion, surface recouverte d'une feuille plastique
- surface brossée après environ 24 h
- traitement de cure avec de l'eau

xion étaient déjà de (5,5 ± 0,8) N/mm², et les résistances à la compression de (21,8 ± 2,6) N/mm². Après 28 jours, les valeurs atteintes étaient respectivement de (7,7 ± 1,3) N/mm² et (47,2 ± 6,0) N/mm².

Arrêts de bus

Les revêtements des arrêts de bus doivent également satisfaire à de hautes exigences. Et lors de réfections, les surfaces de roulement doivent en outre être réouvertes à la circulation le plus rapidement possible. Pour répondre à ces impératifs, on utilise des revêtements en béton à haute résistance initiale, et de plus en plus, également pour la réalisation de nouveaux arrêts de bus. En utilisant une formule de béton qui a fait ses preuves en Suisse, on peut établir l'horaire de travail suivant:

- 1^{er} jour: enlèvement de l'ancien revêtement, travaux préparatoires pour la mise en place du nouveau revêtement
- 2^e jour: bétonnage, traitement de cure, fraisage des joints au cours de la nuit suivante (moment déterminé par la vitesse de durcissement du béton)

- 3^e jour: ouverture à la circulation. Les joints ne sont étanchés qu'après environ trois semaines, lorsque le béton est un peu «desséché» (adhérence optimale de la masse d'étanchéité).

Les principales données concernant quelques arrêts de bus réalisés en 1998 dans une ville suisse figurent dans le *tableau 2*.

Résumé

Les exemples cités dans cet article montrent qu'après le bétonnage de surfaces de roulement, il n'est pas nécessaire – comme on le suppose souvent – d'attendre 28 jours jusqu'à

l'ouverture à la circulation. Ce sont en principe surtout les deux procédés suivants qui sont utilisés:

- Avec un béton à haute résistance initiale, préparé au lieu de mise en place avec un ciment spécial, les surfaces de roulement sont de nouveau carrossables 4–12 h après le bétonnage. Ce procédé ne convient que pour de petites surfaces.
- Pour les surfaces de roulement qui doivent être de nouveau carrossables 24 h après la mise en place du béton, on utilise des bétons à haute résistance initiale fabriqués avec CEM I 42,5 ou CEM I 52,5, ainsi qu'avec des additifs (fumée de silice et HBV). Ces bétons peuvent être préparés en centrales et conviennent également pour de grandes surfaces.

Il est indispensable d'effectuer des essais préliminaires, confirmant que les résistances initiales exigées sont atteintes.

Rolf Werner et Kurt Hermann, TFB

Sorte de béton	B 45/35
Ciment	350 kg CEM I 42,5/m ³
Rapport e/c	< 0,45
Superfluidifiant (HBV)	1,5 % de la masse de ciment
Fumée de silice	25 kg/m ³
Entraîneur d'air (LP)	0,4 % de la masse de ciment
Conditions ambiantes	
– température de l'air lors de la mise en place	8–13 °C
– température du béton frais lors de la mise en place	11–17 °C
Résistances à la compression	
– après 1 jour	23–33 N/mm ²
– après 7 jours	51–55 N/mm ²
– après 28 jours	53–60 N/mm ²
Résistances à la traction par flexion	
– après 1 jour	3,5–5,4 N/mm ²
– après 7 jours	7,1–8,0 N/mm ²
– après 28 jours	7,4–8,9 N/mm ²

Tab. 2 Béton à haute résistance initiale pour arrêts de bus: composition et propriétés du béton durci.