

# Pont mixte acier-béton composé de dalles préfabriquées

Autor(en): **Hermann, Kurt / Badawy, Maher**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin du ciment**

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

Heft 6

PDF erstellt am: **16.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-146561>

## **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.

# Pont mixte acier-béton composé de dalles préfabriquées

Le tablier du viaduc de la A1 à Dättwil se compose entre autres de 61 éléments en béton. Leur préfabrication a exigé que de vastes études relevant de la technologie du béton soient faites préalablement.

Le nouveau viaduc à trois voies de la A1, à Dättwil près du tunnel du Baregg (voir photo de la page de titre), a été construit en 2000, en huit mois seulement. Cela n'a été possible que grâce à une planification parfaite et à un mode de construction moderne [4].

La préfabrication des 61 éléments en béton du tablier, pour laquelle des essais préliminaires très poussés ont été nécessaires, a été d'une importance primordiale.

## Viaduc de la A1 à Dättwil [1]

D'une étude comportant douze variantes de construction, deux solutions ont été sélectionnées pour le viaduc:

- pont en béton armé et précontraint avec poutre caisson



Fig. 1 Les éléments en béton préfabriqués ont d'abord été déposés sur la charpente métallique.

Photo: TFB

- pont mixte acier-béton avec poutre en treillis en acier et tablier en béton précontraint.

C'est finalement la variante mixte acier-béton qui a été retenue, beaucoup en raison de la durée de construction de huit mois seulement.

La poutre de pont est divisée en six travées: deux travées de bord de 25,6 m de longueur chacune et quatre travées médianes de 38,4 m de longueur chacune. Les fondations des culées sont établies directement dans la roche, et celles des doubles piles rondes sur des pieux forés (longueur jusqu'à 25 m, diamètre 0,90 m) dans la roche.

### 400 t d'acier

D'un poids de 400 t, la construction en acier comprend au total 1400 éléments. Un tube d'acier de 500 mm de diamètre constitue la membrure inférieure de la poutre en treillis triangulaire. Le diamètre des deux tubes d'acier de la membrure supérieure est de 300 mm et celui des entretoises de 260 mm. Les longueurs et les coupes des tubes ont été calculées sur la base d'un modèle tridimensionnel établi par ordinateur. Pour la coupe des tubes, on a utilisé une machine à découper au chalumeau commandée par ordinateur. Divisée en 13 tronçons, la charpente en acier a été fabriquée à Aigle. Les

### A propos de cet article

Le séminaire du TFB «Kostengünstig bauen dank innovativen Massivbaukonstruktionen» a eu lieu le 14 mars 2001 à Wildegg. L'exposé intitulé «Spannbetonverbundbrücke aus vorfabrizierten Plattenelementen am Beispiel der Brücke Dättwil, A1» constituait un point essentiel de ce séminaire.

Ont parlé:

- [1] H. Fehlmann (Baden) sur «Projektierung/Ausführung und zugehörige Randbedingungen aus der Sicht des Bauherrn»
- [2] Maher Badawy (Wildeg) sur «Optimierung des Schwindmasses in Abstimmung auf das Montage- und Vorspannprogramm»
- [3] Maher Badawy (Wildeg) sur «Minimierung der Eigenspannungen für komplexe Elementquerschnitte mit analytischen Modellrechnungen».

Le présent article est basé en majeure partie sur ces exposés. D'autres informations proviennent de la littérature spécialisée (voir Bibliographie en page 7).

assemblages se composent de soudures de la classe QB contrôlées par ultrasons. Le montage de la charpente métallique sur la fondation a duré trois semaines. Les différents tronçons ont été transportés, mis en place, ajustés et finalement soudés.

### 2900 t de béton pour 61 éléments

Pour les 61 éléments en béton du tablier – comme d'ailleurs pour la charpente métallique –, les exigences relatives à la précision de la géométrie étaient très élevées. Cela impliquait





Fig. 2 Une des 61 dalles préfabriquées du nouveau viaduc de la A1 à Dättwil est mise en place au moyen de la plus grande autogreue sur chenilles de Suisse. Ces dalles ont 15,90 m de longueur, 3,20 m de largeur, et aux endroits les plus minces, 0,25 m d'épaisseur.

Photo: TFB

des études préalables très poussées, dont il est traité ci-dessous.

Six câbles de précontrainte transversale exerçant une force de précontrainte de 74 t ainsi que 22 tubes vides pour la précontrainte longitudinale sont intégrés dans chaque élément (voir figure 2).

Le coffrage a été réalisé en béton. On a bétonné là-dessus huit éléments par semaine, selon le procédé «short-line match-cast»: le nouvel élément est bétonné directement contre l'élément précédent. On obtient ainsi une grande précision d'ajustement des joints.

Le premier élément du tablier a été réalisé en béton coulé sur place. Les 61 éléments de la série ont été ensuite amenés et déposés sur la charpente en acier, puis collés avec une résine époxy. Chaque élément a été placé avec précision et pressés contre les dalles déjà posées au moyen d'une précontrainte auxiliaire.

La dernière dalle du tablier a également été réalisée en béton coulé sur place. Après l'insertion et la tension des câbles longitudinaux, les dalles en béton ont été assemblées à la charpente métallique par soudage.

## Optimisation du retrait [2]

Dans le cadre des études préalables, des formulations de béton et des propositions pour la production et l'entreposage des 61 éléments en béton préfabriqués (figure 2) devaient être élaborées.

Les conditions suivantes devaient entre autres être remplies:

- retrait résiduel aussi faible que possible après la mise en place des éléments (exigence principale)
- résistance à la déformation et durabilité élevées des éléments
- béton
  - B 45/35 résistant au gel
  - 330 kg de liant/m<sup>3</sup>
  - rapport e/c+s 0,45 (c+s = masse du ciment + ajouts)
  - compactage (VM) 1,08–1,14
  - couleur aussi claire que possible.

### Essais en laboratoire

Cinq formulations de béton ont été étudiées. Elles se différenciaient principalement par le liant (tableau 1). Les propriétés du béton frais de ces mélanges figurent dans le tableau 2, et celles du béton durci dans le tableau 3; les changements de retrait total et de retrait résiduel en fonc-

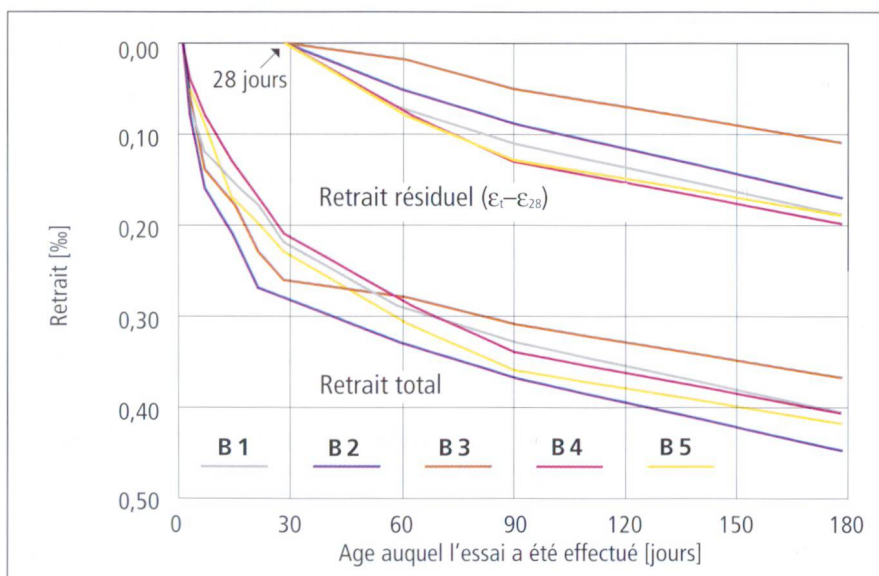


Fig. 3 Retrait résiduel et retrait total des bétons B1 à B5 (selon [2]).

Dessins: TFB



tion du temps sont indiqués à la *figure 3*.

Les bétons B4 et B5 ont été éliminés en raison d'une résistance sur cube à 28 jours insuffisante. Le retrait résiduel  $\varepsilon_t - \varepsilon_{28}$  (*figure 3*) aurait dû favoriser les bétons B2 (0,17 %) et B3 (0,11 %), mais le B3 ne convenait pas pour les raisons suivantes:

- Les bétons avec fumée de silice ne ressentent que peu. C'est pourquoi si le traitement de cure n'est pas effectué immédiatement, des fissures (fissures de retrait précoce) peuvent se former rapidement.
- Les bétons CEM I sans fumée de silice sont de teinte plus claire que ceux avec fumée de silice.

Les bétons avec fumée de silice étant plus sensibles aux influences de l'environnement, seuls les bétons B1 et B2 ont été retenus pour les études qui ont fait suite. Cela en étant conscient que B2, en raison de l'hydratation rapide du CEM I 52,5 R, pourrait peut-être causer des problèmes dus aux contraintes thermiques (voir ci-dessous).

### Influences sur le retrait résiduel des bétons B1 et B2

Les essais mentionnés ici ont été effectués sur des prismes (120 x 120 x 360 mm) ou sur des murs en béton (500 x 500 x 250 mm). Selon la norme

	Rapport e/c+s <sup>1)</sup>	Liant Désignation	Dosage	Adjuvant Désignation	Dosage
B1	0,45	CEM I 42,5	330 kg/m <sup>3</sup>	HBV LP	0,50 % de la masse <sup>2)</sup> 0,20 % de la masse <sup>2)</sup>
B2	0,45	CEM I 52,5 R	330 kg/m <sup>3</sup>	HBV LP	0,50 % de la masse <sup>2)</sup> 0,20 % de la masse <sup>2)</sup>
B3	0,45	CEM I 42,5 fumée de silice	300 kg/m <sup>3</sup> 18 kg/m <sup>3</sup>	HBV LP	0,47 % de la masse <sup>2)</sup> 0,19 % de la masse <sup>2)</sup>
B4	0,45	CEM I 42,5 cendres volantes	280 kg/m <sup>3</sup> 50 kg/m <sup>3</sup>	HBV LP	0,50 % de la masse <sup>2)</sup> 0,20 % de la masse <sup>2)</sup>
B5	0,45	CEM II/A-L 32,5 R	330 kg/m <sup>3</sup>	HBV LP	0,50 % de la masse <sup>2)</sup> 0,20 % de la masse <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> c+s = masse du ciment + ajouts

<sup>2)</sup> Par rapport à la masse du liant

Tab. 1 Composition des mélanges de béton [2].

	Liant/m <sup>3</sup> béton	Rapport e/c+s	VM	Masse volumique apparente	Teneur en LP	FS <sup>1)</sup>
B1	330 kg CEM I 42,5	0,45	1,02	2405 kg/m <sup>3</sup>	3,2 %	1,94
B2	330 kg CEM I 52,5 R	0,45	1,07	2423 kg/m <sup>3</sup>	2,8 %	1,90
B3	300 kg CEM I 42,5 18 kg fumée de silice	0,45	1,10	2394 kg/m <sup>3</sup>	3,0 %	1,95
B4	300 kg CEM I 42,5 50 kg cendres volantes	0,45	1,03	2438 kg/m <sup>3</sup>	1,7 %	1,69
B5	330 kg CEM II/A-L 32,5 R	0,45	1,03	2396 kg/m <sup>3</sup>	3,5 %	1,94

<sup>1)</sup> Résistance au gel selon norme SIA 162/1, essai 21 [1], calculée pour un béton âgé de 60 jours; des valeurs de > 1,50 signifient une résistance au gel suffisante.

Tab. 2 Propriétés du béton frais des mélanges essayés [2].

	Liant/m <sup>3</sup> béton	Age auquel l'essai a été effectué	Masse volumique apparente	Compression sur cubes
B1	330 kg CEM I 42,5	1 jour	2391 kg/m <sup>3</sup>	20 N/mm <sup>2</sup>
		3 jours	2364 kg/m <sup>3</sup>	31 N/mm <sup>2</sup>
		28 jours	2383 kg/m <sup>3</sup>	45 N/mm <sup>2</sup>
B2	330 kg CEM I 52,5 R	1 jour	2406 kg/m <sup>3</sup>	30 N/mm <sup>2</sup>
		3 jours	2417 kg/m <sup>3</sup>	42 N/mm <sup>2</sup>
		28 jours	2401 kg/m <sup>3</sup>	47 N/mm <sup>2</sup>
B3	300 kg CEM I 42,5 18 kg fumée de silice	1 jour	2417 kg/m <sup>3</sup>	23 N/mm <sup>2</sup>
		3 jours	2398 kg/m <sup>3</sup>	34 N/mm <sup>2</sup>
		28 jours	2405 kg/m <sup>3</sup>	48 N/mm <sup>2</sup>
B4	300 kg CEM I 42,5 50 kg cendres volantes	1 jour	2398 kg/m <sup>3</sup>	17 N/mm <sup>2</sup>
		3 jours	2378 kg/m <sup>3</sup>	28 N/mm <sup>2</sup>
		28 jours	2390 kg/m <sup>3</sup>	43 N/mm <sup>2</sup>
B5	330 kg CEM II/A-L 32,5 R	1 jour	2407 kg/m <sup>3</sup>	21 N/mm <sup>2</sup>
		3 jours	2377 kg/m <sup>3</sup>	31 N/mm <sup>2</sup>
		28 jours	2367 kg/m <sup>3</sup>	38 N/mm <sup>2</sup>

Tab. 3 Masses volumiques apparentes et résistances à la compression sur cube des bétons essayés [2].

SIA 162 [5], l'épaisseur de l'élément  $t_{ef}$  est pour ces éprouvettes de 60 mm ou 167 mm ( $t_{ef} = 2 A/U$ , où A = aire de la section transversale et U = périmètre de la section exposée au dessèchement). Un élément de pont

(15900 x 3200 x env. 40 mm; voir *figure 2*) a une épaisseur d'élément  $t_{ef}$  d'environ 390 mm.

Les principaux résultats concernant le retrait des prismes et murs peuvent être résumés comme suit:

- Le retrait résiduel est d'autant plus faible que l'épaisseur de l'élément  $t_{ef}$  est grande.
- Avec un traitement de cure humide, le retrait résiduel de B2 augmente légèrement pendant deux jours
- En simulant les conditions d'entreposage en plein air par des aspersions intermittentes avec de l'eau, on a augmenté le retrait résiduel; les éléments doivent donc être entreposés dans un environnement aussi sec que possible.

Tous les calculs ont rendus prévisibles de légères différences dans les retraits résiduels de B1 et B2. On a finalement choisi B2, dont le développement rapide de la résistance au cours des premiers jours est plus favorable que celui de B1.

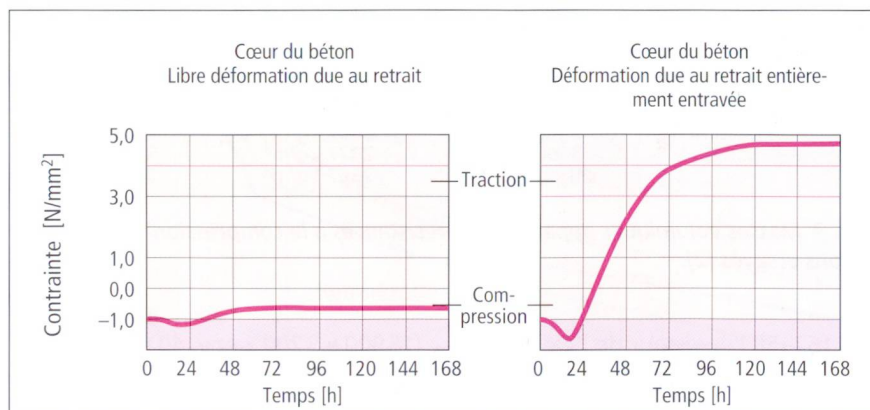


Fig. 4 Développement de la contrainte en fonction du temps au cœur d'une dalle en béton de 400 mm d'épaisseur: pendant l'échauffement au cours des premières heures, des contraintes de compression se produisent, et pendant le refroidissement, des contraintes de traction (selon ESM, Saint-Sulpice [6]).

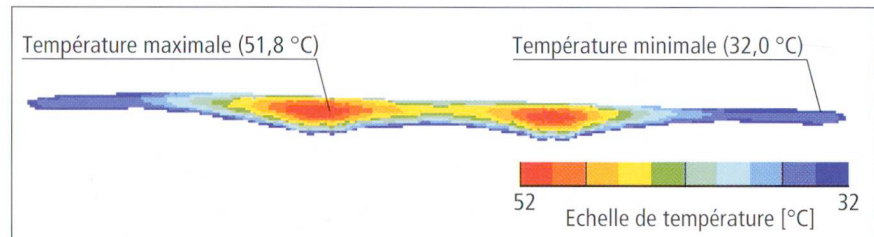


Fig. 5 Répartition des températures calculée dans un élément en béton, 18 h après le bétonnage (température maximum avec paramètres de départ).

Graphique: ESM, Saint-Sulpice [6]

## Réduction des contraintes internes [3]

Lors de l'hydratation des ciments, de la chaleur est dégagée. La chaleur maximale que peut atteindre le béton lors de ce processus est influencée entre autres par les facteurs suivants:

- type de ciment
- dimensions de la section transversale
- température du béton frais et de l'air
- propriétés du coffrage.

Les différences de température entre les zones intérieures et les zones superficielles d'un béton peuvent être

considérables. Pendant l'échauffement, le béton des zones intérieures est soumis à des contraintes de compression, et pendant le refroidissement, à des contraintes de traction. La grandeur de ces contraintes dépend de l'importance de la différence de température et de la liberté de déformation de l'élément (figure 4). Lorsque la contrainte de traction atteint quelque 65% de la résistance à la traction d'un béton, des fissures peuvent se former [6].

Pour le viaduc de Dättwil de la A1, le développement de la température dans les éléments est très compliqué. Il a été étudié de plus près au moyen d'un logiciel basé sur la méthode des éléments finis [6]. En dehors du dégagement de chaleur d'hydratation, on a également simulé le retrait chimique ainsi que le développement des résistances à la compression et à la traction.

Pour les calculs – basés sur les essais préliminaires avec B2 – on a utilisé les valeurs suivantes:

- résistance à la compression: 30 N/mm<sup>2</sup> après 33 h et 40 N/mm<sup>2</sup> après 76 h
- Résistance à la traction: 2,5 N/mm<sup>2</sup> après 33 h et 3,5 N/mm<sup>2</sup> après 76 h.



D'autres hypothèses ont été faites pour l'analyse de base

- température ambiante ( $15 \pm 3$ ) °C
- température du béton frais 20 °C
- face supérieure entièrement recouverte de feuilles plastiques
- décoffrage après 24 h
- entreposage des éléments décoffrés en plein air.

Le résultat d'un premier calcul est représenté à la *figure 5*. Il est prédit que la température maximale du béton se produit 18 heures après le bétonnage, et cela au cœur de la zone la plus épaisse de l'élément. Les températures minimales sont à prévoir dans les flancs des éléments. Les différences de température provoquent des contraintes, notamment une contrainte de traction maximale de quelque 2,3 N/mm<sup>2</sup> dans les deux zones les plus épaisses, ainsi qu'une contrainte de compression maximale

de 3,9 N/mm<sup>2</sup> aux ailes des éléments en béton.

La variation des températures prévues pour l'air et le béton frais a permis de démontrer que la température du béton frais exerce sur la grandeur des contraintes de traction une plus grande influence que la température de l'air.

Selon les calculs, si l'on insérait 4 tubes de refroidissement dans chacune des zones les plus épaisses des dalles en béton, on réduirait les températures du béton et les contraintes de traction maximales. Le recouvrement des ailes avec des nattes isolantes est beaucoup moins coûteux, et pourtant utile d'après des calculs effectués.

En se basant sur ces calculs et d'autres, les recommandations suivantes ont entre autres été faites [6]:

- Après le bétonnage, recouvrir les 4,0 m extérieurs des ailes des éléments du tablier avec des nattes isolantes d'au moins 20 mm d'épaisseur, et les 7,9 m restants avec une feuille plastique (réduction d'environ 0,3 N/mm<sup>2</sup> de la contrainte de traction maximale).
- décoffrage: au plus tôt 26 h après le bétonnage
- après le décoffrage, mouiller les éléments avec de l'eau d'une température d'environ 30 °C et recouvrir 3-4 jours avec une feuille plastique.

D'autres recommandations concernent la température du béton frais (p. ex. pas supérieure à 22 °C avec une température diurne moyenne de 15 °C).

#### *Faible risque*

Des calculs et mesures sur le béton des éléments de pont préfabriqués ont donné des résistances à la traction par flexion de quelque 6 N/mm<sup>2</sup> (correspond aux résistances à la traction d'environ 3 N/mm<sup>2</sup>) après un jour. Les contraintes de traction maximales se sont produites après six jours. Elles atteignaient environ 2,5 N/mm<sup>2</sup>. A ce moment, la résistance à la traction du béton était déjà de quelque 5 N/mm<sup>2</sup>.

Les doutes possibles concernant l'utilisation de CEM I 52,5 R (hydratation plus rapide que CEM I 42,5) se sont révélés sans fondement: en raison de l'hydratation rapide des bétons avec CEM I 52,5 R, la résistance à la traction était tout le temps assez grande pour supporter les contraintes de traction.

*Maher Badawy  
et Kurt Hermann, TFB*

## BIBLIOGRAPHIE

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

- [4] «Baregg-Info 4 spezial», édité par le «Baudepartement des Kantons Aargau, Abteilung Tiefbau», 5001 Aarau.
- [5] Norme SIA 162: «Ouvrages en béton» (édition 1993).
- [6] «Neue Talbrücke der N1 in Dättwil: Thermo-Mechanical Analyses of Precast Segments», Rapport n° 8745-RA001, ESM (Saint-Sulpice).

#### Mots-clés

Chaleur d'hydratation, contraintes thermiques, éléments en béton, pont mixte acier-béton, préfabrication, résistance à la traction, retrait.