

# Les bétons légers

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

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin du ciment**

Band (Jahr): **64 (1996)**

Heft 11

PDF erstellt am: **17.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-146405>

## **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 bétons légers

L'utilisation de granulats légers, tels qu'en argile expansée, permet de fabriquer des bétons légers aux propriétés intéressantes.

Le béton peut être fabriqué en de nombreuses sortes, en fonction des exigences. Les masses volumiques apparentes à sec de ces différents bétons peuvent varier entre 300 et 3000 kg/m<sup>3</sup> et leurs résistances peuvent atteindre jusqu'à 130 N/mm<sup>2</sup> et plus.

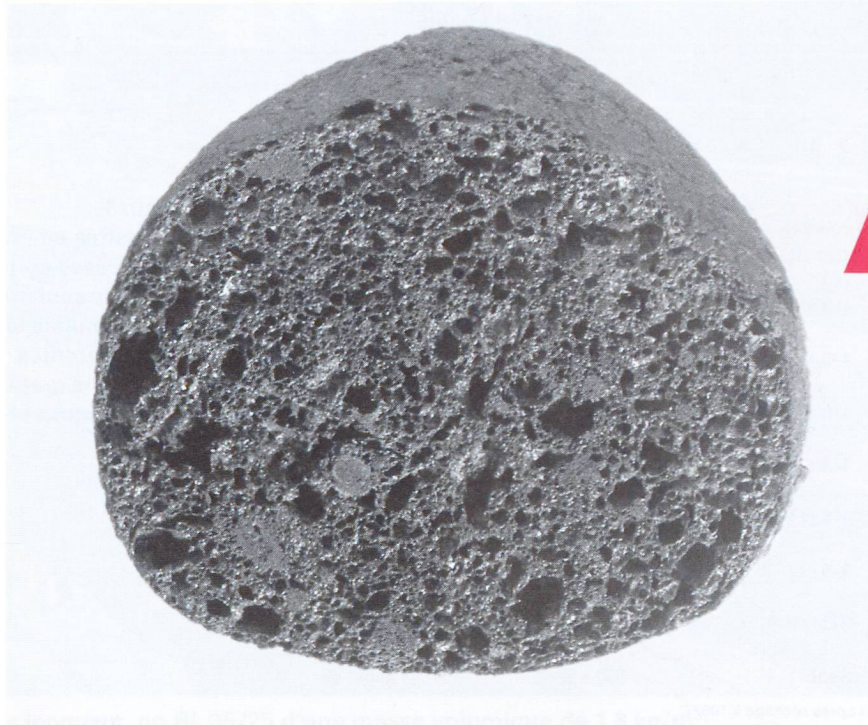
Les bétons légers avec granulats légers poreux et structure fermée (bétons légers de construction), qui s'utilisent en pratique avec des masses volumiques entre 1100 kg/m<sup>3</sup> (résistances à la compression d'environ 12 N/mm<sup>2</sup>) et 1800 kg/m<sup>3</sup> (résistances à la compression allant jusqu'à 60 N/mm<sup>2</sup>), se situent dans la gamme moyenne des masses volumiques apparentes à sec.

Dans le présent «Bulletin du ciment», nous traitons uniquement des bétons légers à structure fermée, et laissons par exemple de côté les bétons légers avec vides entre les granulats (texture caverneuse), ainsi que les bétons-gaz et les bétons mousse ou bétons poreux, qui comptent également parmi les bétons légers.

## Normalisation

Dans la norme SIA 162 (édition 1989), on distingue entre béton léger et béton au moyen de la masse volumique apparente  $\rho_0$ :

béton:	de masse volumique $\rho_0 \geq 2000 \text{ kg/m}^3$ , mais au maximum 2800 kg/m <sup>3</sup>
béton léger:	de masse volumique $\rho_0 < 2000 \text{ kg/m}^3$



Coupe d'un grain d'argile expansée (diamètre env. 20 mm).

Les bétons légers sont classés comme les bétons, mais on doit en outre indiquer leur masse volumique apparente, par exemple

béton léger BL 20/10 CEM I 300 kg/m <sup>3</sup> $\rho_0 = 1400 \text{ kg/m}^3$	béton léger BL 35/25 CEM I 350 kg/m <sup>3</sup> $\rho_0 = 1800 \text{ kg/m}^3$ résistant au gel
---	---

Ajoutons que dans les normes SIA en vigueur, le béton léger est vraiment traité en parent pauvre, alors qu'il figurait en bonne place dans les normes précédentes. C'est pourquoi les utilisateurs de béton léger expérimentés se réfèrent souvent à la directive SIA 33 [2], qui complétait l'édition 1968 de la norme 162.

## Granulats légers

Divers produits, naturels ou artificiels, conviennent comme granulats légers. Par exemple la ponce, les cendres volantes frittées, l'argile expansée ou le schiste expansé [3]. Pour la Suisse, seuls ont de l'importance l'argile expansée et, dans une beaucoup plus faible mesure, le schiste expansé. Ce qui suit concerne exclusivement les bétons légers fabriqués avec de l'argile expansée.

Les argiles expansées sont commercialisées sous des noms tels que Leca ou Liapor. Les matières premières pour leur fabrication sont des argiles naturelles de qualité supérieure, à partir desquelles on obtient – entre

autres par expansion et cuisson à quelque 1100–1200 °C – des perles sphériques poreuses témoignant d'une grande résistance. Ces perles sont thermo-isolantes et résistent au feu, aux produits chimiques et au gel. Leur surface est frittée et moyennement rugueuse. Le sable concassé obtenu à partir d'argile expansée contient 20–25 % de fines «farine». Comme le processus de production peut être réglé avec précision, il permet de fabriquer des sphères d'argile expansée dont la grosseur et la masse volumique à sec varient en fonction des exigences. Elles se répartissent habituellement dans les fractions granulométriques 0–4, 4–8, 8–16 et 16–25 mm; le Leca est proposé dans les fractions granulométriques 0–3, 3–10 et 10–20 mm. On trouve dans le *tableau 1* une sélection de granulats légers fabriqués par une entreprise allemande, lesquels seront dorénavant offerts plus largement sur le marché suisse.

Plusieurs des différences entre la mise en œuvre des bétons légers et celle des autres bétons sont dues aux propriétés particulières des granulats légers. L'argile expansée absorbe facilement l'eau, et la restitue lentement par la suite. Après entreposage en plein air, il faut, pour le dosage en poids, tenir compte de son humidité propre, car sinon il y a trop peu de

Fraction granulométrique [mm]	Densité en vrac [kg/m <sup>3</sup> ] <sup>1)</sup>	Masse volumique granulaire [kg/dm <sup>3</sup> ] <sup>1)</sup>
4-8 et 8-16	325 ± 25	0,55-0,65
4-8 et 8-16	400 ± 25	0,70-0,80
4-8 et 8-16	500 ± 25	0,90-1,00
4-8 et 8-16	600 ± 25	1,05-1,15
4-8 et 8-16	700 ± 25	1,25-1,35
4-8 et 8-16	800 ± 25	1,45-1,55
Sable 0-4	700 ± 50	1,50-1,70
Sable 1-4	600 ± 50	1,30-1,50

1) après séchage à 105 °C

**Tab. 1**  
Densités en vrac et masses volumiques granulaires de granulats légers de différentes fractions granulométriques [4].

granulats qui se déversent dans le malaxeur. C'est pourquoi le dosage volumétrique est souvent préféré, car le volume des matériaux avec diamètre de grain > 4 mm ne dépend pas de la teneur en eau.

### Formules de bétons légers

Les mélanges de béton léger sont souvent réalisés d'après les formules recommandées par les producteurs de granulats légers, car en ce qui concerne la résistance à la compression des bétons légers, il n'y a pas de lien clairement établi entre le rapport e/c calculé sur la base de la teneur totale en eau et la résistance normale à la compression. C'est le rapport e/c effectif défini par la quantité d'eau contenue dans la pâte de ciment qui est déterminant. De nombreux facteurs exercent une influence sur le rapport e/c effectif, entre autres la masse volumique à sec et l'humidité initiale des granulats légers, ainsi que la consistance du béton frais et les conditions de mise en œuvre. Étant donné que l'argile expansée sèche soutire de l'eau à la pâte de ciment dès le début du malaxage, il est souvent conseillé de mouiller les granulats avant de les ajouter au mélange. Il faut toutefois veiller à ne pas les mouiller exagérément, sans quoi le béton léger présente un taux d'humidité élevé même après plusieurs

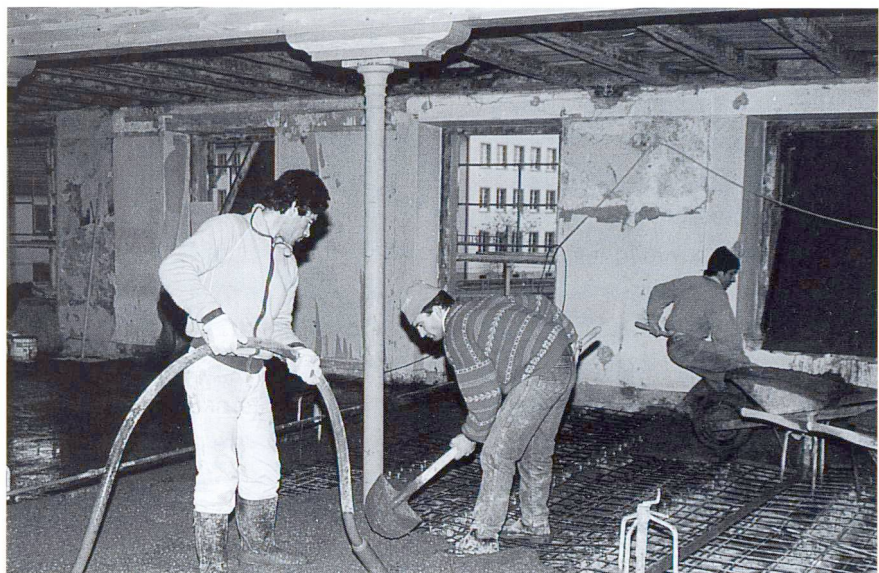
années, avec les conséquences négatives que cela implique: masse volumique et conductivité thermique élevées, résistance au feu et au gel amoindrie, ainsi que comportement au fluage moins bon.

Dans la pratique, un léger mouillage préalable des granulats légers est courant. Il s'est également révélé bon de prolonger la durée du malaxage ou de prédéterminer la consistance, voire les deux. (A noter que le compactage permet de juger de la consistance plus fiablement que l'étalement.) Avec des granulats légers non mouillés au préalable, il est conseillé de traiter les grains d'argile expansée > 4 mm avec l'eau prévue pour le mé-

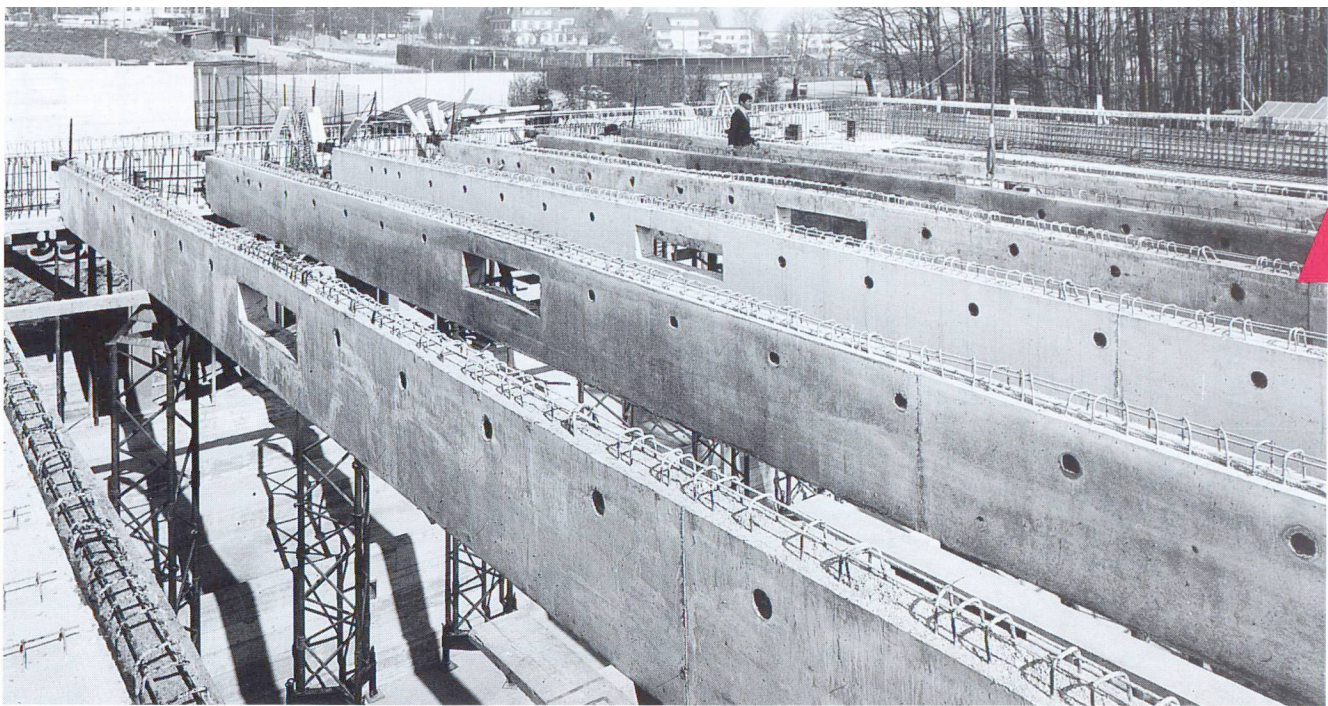
lange, et d'ajouter ensuite seulement le sable et le ciment.

Une autre solution est de malaxer le mortier de ciment quelques minutes avant d'ajouter l'argile expansée. L'absorption d'eau des granulats s'en trouve diminuée de quelque 30 à 50 %, car il n'y a ainsi pas d'eau qui entre directement en contact avec les granulats, lesquels absorbent du lait de ciment au lieu d'eau, ce qui finalement rend la zone de contact plus solide et plus compacte [6].

Les formules recommandées par les fabricants d'argile expansée se rapportent généralement à des mélanges de consistance très plastique. Les teneurs en ciment se situent le plus



**Rénovation d'un ancien bâtiment au moyen du système mixte bois-béton (béton léger BL 20/10, masse volumique 1,5 kg/m<sup>3</sup>).**



Solives préfabriquées d'environ 24 m de longueur, en BL 35/25 d'une masse volumique de 1,8 kg/m<sup>3</sup>.

souvent entre 300 et 350 kg/m<sup>3</sup>, et les teneurs en mortier (pâte de ciment y compris air occlus et granulats < 4 mm) entre 550 et 620 dm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>. Les grandes différences dans les masses volumiques du ciment et des granulats peuvent entraîner des difficultés lors du malaxage. Les adjuvants du béton ne devraient être ajoutés que tout à la fin du malaxage, afin qu'ils ne pénètrent pas à l'intérieur des grains.

### Transport et mise en place

Les bétons légers tendent plus fortement à la ségrégation que les bétons ordinaires. Le danger de ségrégation est particulièrement grand avec une consistance trop fluide et une faible masse volumique granulaire des granulats légers. On peut y remédier, entre autres, en utilisant des adjuvants (stabilisants, entraîneurs d'air) ou des ajouts du béton (cendres volantes, poudres minérales).

En raison de sa faible densité, le béton léger frais coule moins bien que le béton ordinaire; c'est pourquoi les points de mise en place doivent être plus rapprochés. Le compactage se fait toujours par vibration, de préférence avec des appareils à haute fréquence, qui ont fait leurs preuves. Il faut prendre en considération que dans les bétons légers, les rayons d'action des penvibrateurs sont envi-

ron 50 % plus petits que dans les bétons ordinaires. Les bétons légers peuvent également être transportés si l'on dispose de l'équipement (p. ex. pompes spéciales) et des formules de béton appropriés. La pression élevée peut être cause d'une plus forte absorption d'eau par les granulats légers, ce qui peut entraîner un raidissement du béton léger, et finalement des engorgements. C'est pourquoi aux USA, on conseille de prétraiter les granulats légers avec suffisamment d'eau [7]. En Europe par contre, on renonce souvent à un mouillage préalable supplémentaire des granulats pour le béton pompé. Le raidissement du béton pendant le pompage est plus accentué si l'on choisit une consistance initiale plastique. Pour empêcher la ségrégation de ces bétons légers, on utilise souvent des adjuvants qui réduisent l'absorption d'eau et augmentent l'aptitude au glissement du béton [3].

### Traitement de cure

L'eau que contiennent les granulats légers agit comme une sorte de «produit de cure interne». Le béton doit tout de même être protégé contre un dessèchement rapide, sans quoi il se produit une forte disparité entre noyau et zone externe, ce qui peut provoquer des fissures réticulaires. Et comme la capacité thermique du bé-

ton léger est en outre plus faible que celle du béton ordinaire, le béton léger s'échauffe plus fortement que le béton ordinaire pendant les premières heures de l'hydratation du ciment. Cela augmente le danger de fissuration d'origine thermique. Un décoffrage plus tardif et le recouvrement avec des nattes thermo-isolantes constituent des mesures préventives.

### Durabilité

Les interactions avec la pâte de ciment durcie sont plus fortes avec les granulats légers en argile expansée qu'avec les granulats utilisés habituellement pour la fabrication du béton. Les phénomènes suivants – qui conduisent à une bonne liaison entre granulats et pâte de ciment durcie – ont été observés [8]:

- Les pores des granulats légers sont plus gros que ceux de la pâte de ciment durcie. C'est pourquoi, pendant l'hydratation, de l'eau est aspirée dans la pâte de ciment durcie (effet capillaire). Cet apport d'eau dure jusqu'à ce que le clinker soit hydraté presque à 100 % dans la zone de contact entre granulats et matrice. Il en résulte une structure plus compacte, ce qui augmente la durabilité.
- La surface rugueuse des granulats permet une meilleure liaison mécanique avec la matrice. Les produits de l'hydratation du clinker se développent

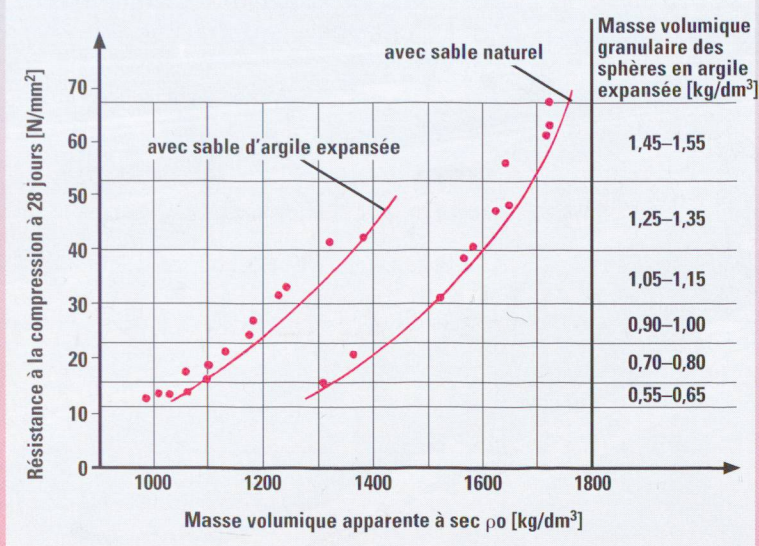


Abb. 1 Masses volumiques apparentes et résistances à la compression à 28 jours de bétons légers avec granulats en argile expansée de différentes masses volumiques granulaires (d'après [3, 5], modifié).

à l'intérieur des granulats légers.

- Les grains d'argile expansée ont des propriétés pouzzolaniques. La réaction des composés actifs (acides siliciques,  $CS_2$  et  $CS_3$  par exemple ont été décelés) avec l'hydroxyde de calcium de la pâte de ciment durcie renforce encore l'enchevêtrement des granulats et de la matrice. Ces effets conjugués engendrent dans la zone de liaison une microstructure ne comprenant ni microfissures ni zones poreuses.

De nombreux bateaux, exposés pendant des décennies à un très rude en-

vironnement, témoignent de la durabilité du béton léger [6, 9]. On a examiné, entre autres, des échantillons de l'USS *Selma* (construit en 1919), qui est resté dans l'eau de mer pendant plus de 60 ans. Le béton léger prévu pour sa construction devait être d'une masse volumique apparente de  $1700 \text{ kg/m}^3$  et d'une résistance de  $34 \text{ N/mm}^2$ . Les carottes, prélevées au-dessous de la ligne de flottaison, avaient, après 61 ans, des résistances à la compression d'environ  $68 \text{ N/mm}^2$ . Quelques vides situés au bord des granulats avaient vraisem-

blablement servis de réservoir pour une matière qui, ailleurs, aurait provoqué une expansion.

On a également observé sur des échantillons provenant de revêtements de ponts vieux de 12 à 40 ans que les granulats étaient très bien liés à la pâte de ciment durcie. Ils étaient entourés d'une zone de quelque  $60 \mu\text{m}$  d'épaisseur ( $0,060 \text{ mm}$ ), qui comprenait moins de vides et de pores que le reste de la pâte de ciment durcie.

### Propriétés du béton durci

La résistance à la compression dépend beaucoup de la résistance mécanique et de la rigidité des granulats. Il ressort de la *figure 1* que des masses volumiques granulaires élevées signifient également des masses volumiques du béton et des résistances à la compression élevées. On peut également en déduire que le remplacement de l'argile expansée concassée par du sable naturel se traduit par un accroissement de la masse volumique du béton léger, alors que la résistance n'augmente que peu. Dans le béton léger durci, les fissures traversent la pâte de ciment durcie et les granulats.

Les bétons légers témoignent en général d'un retrait et d'un fluage un peu plus forts que les bétons ordinaires comparables. Grâce à la faible

## Bétons légers à hautes performances

Les performances d'un béton léger sont définies par sa masse volumique. C'est pourquoi la désignation «à haute résistance» peut s'appliquer à un béton léger d'une masse volumique de  $1200 \text{ kg/m}^3$  seulement et d'une résistance de  $30 \text{ N/mm}^2$ . Diminuer la masse volumique en utilisant du sable d'argile expansée et ajouter de la fumée de silice qui compense largement la faible perte de résistance liée à cette diminution font partie des moyens permettant d'obtenir un béton léger à hautes performances.

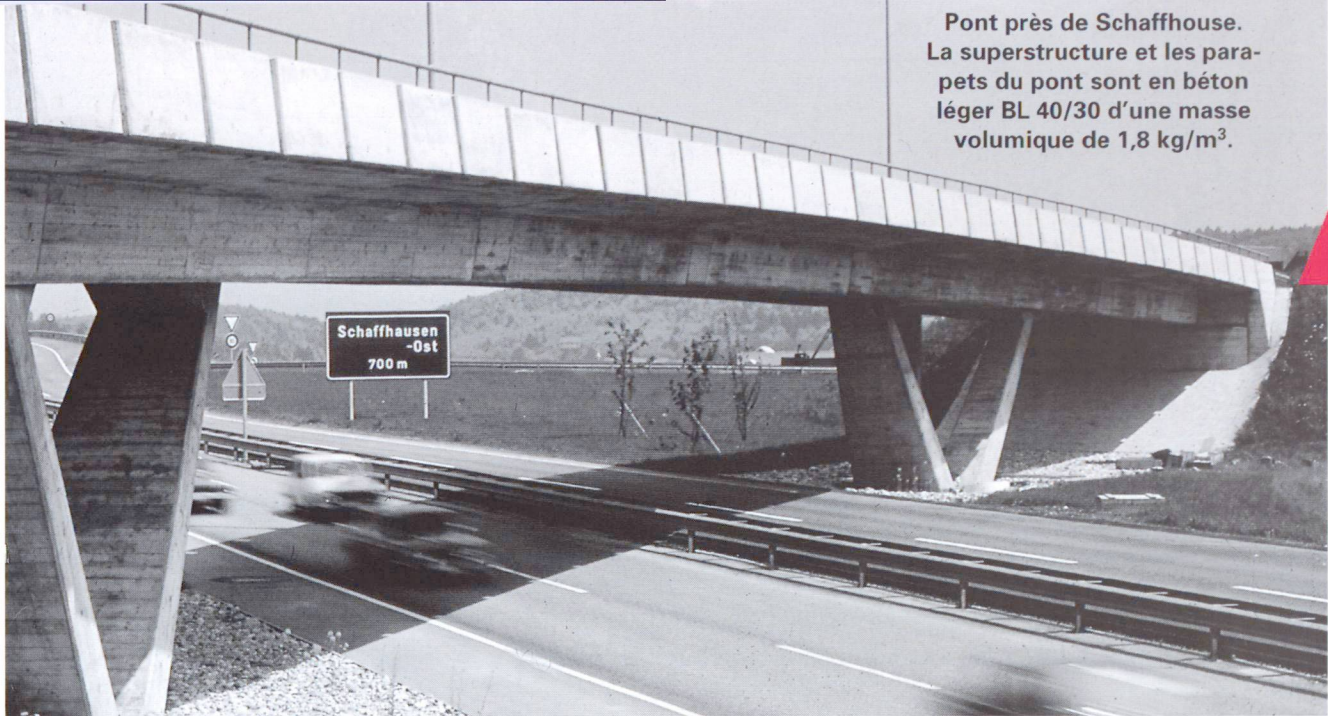
Ci-après, quelques exemples d'utilisation de béton léger à hautes performances:

- Plate-forme pétrolière de Heidrun [8, 11]. Cette construction flottante en béton est ancrée dans l'eau à  $345 \text{ m}$  de profondeur, au nord du cercle polaire. La construction en béton léger a  $109 \text{ m}$  de hauteur (dont  $77 \text{ m}$  immergés) et  $110 \text{ m}$  de longueur de côté. Avec une masse volumique moyenne du béton frais de  $1941 \text{ kg/m}^3$ , on a obtenu des résistances à la compression caractéristiques entre  $60$  et  $70 \text{ N/mm}^2$ . On a utilisé au total  $66\,000 \text{ m}^3$  de béton léger et  $31\,100 \text{ t}$  d'acier d'armature et de précontrainte. La formule du béton était la suivante:

ciment		$420 \text{ kg/m}^3$
fumée de silice		$20 \text{ kg/m}^3$
sable	(0–3 mm)	$720 \text{ kg/m}^3$
argile expansée	(4–8 mm)	$320 \text{ kg/m}^3$
argile expansée	(8–16 mm)	$260 \text{ kg/m}^3$
LP		4–5 %
BV		5–10 /m <sup>3</sup>

- Pont de Støvset en Norvège [8]. La travée principale de ce pont a une portée de  $220 \text{ m}$ . La résistance à la compression du béton léger est de  $65 \text{ N/mm}^2$ .

- Tremplin de ski d'Oberstorf [8]. L'utilisation de béton léger à hautes performances (résistance à la compression de  $50 \text{ N/mm}^2$  avec une masse volumique à sec de  $1,53 \text{ kg/dm}^3$ ) a permis de réduire de  $\frac{2}{3}$  la masse du béton.



Pont près de Schaffhouse. La superstructure et les parapets du pont sont en béton léger BL 40/30 d'une masse volumique de  $1,8 \text{ kg/m}^3$ .

porosité, déjà mentionnée, de la pâte de ciment durcie, ces bétons peuvent servir de bétons imperméables à l'eau. Les bétons légers avec un même rapport  $e/c$  effectif que les bétons ordinaires résistent en outre bien au gel et aux fondants chimiques, entre autres, en raison de la haute qualité de la pâte de ciment durcie [3, 8]. Des examens très poussés prouvent qu'en ce qui concerne la corrosion de l'armature, les bétons légers se comportent comme les bétons ordinaires [10]. La carbonatation se produit un peu plus rapidement et l'absorption de ions de chlorure est un peu plus forte. C'est pourquoi, pour les bétons légers exposés aux intempéries,

l'épaisseur de la couverture devrait être augmentée d'environ 5 mm. La conductivité thermique du béton ou du béton léger diminue parallèlement à la masse volumique, mais augmente parallèlement au taux d'humidité. C'est pourquoi, en cas d'incendie, l'élévation de la température à l'intérieur des éléments de construction en béton léger est plus faible qu'à l'intérieur de ceux en béton ordinaire. Avec les bétons légers, dont les granulats contiennent encore relativement beaucoup d'eau, cela peut provoquer des éclatements explosifs des couches de béton extérieures. La cause en est due à la matrice compacte, qui ne laisse pas la

vapeur d'eau s'échapper. L'adjonction de 0,1 à 0,2 % de fibres de polypropylène – qui fondent en s'échauffant et brûlent à environ  $120 \text{ °C}$  déjà – s'est révélée utile. Cela crée dans la pâte de ciment durcie de minces canaux, qui permettent de réduire la pression interne de la vapeur [8, 11].

### Utilisations

Grâce à leurs propriétés spéciales, les bétons légers sont utilisables dans de nombreux domaines, en tout premier lieu pour les rénovations d'anciens bâtiments et les transformations. Il a déjà été traité de l'utilisation du béton léger dans les systèmes mixtes bois-béton dans de précédents numéros du «Bulletin du ciment» [12, 13]. En raison de leurs propriétés thermo-isolantes, les bétons légers conviennent pour les murs extérieurs et les éléments de façades, et grâce à leur bonne résistance au gel et aux fondants chimiques, pour les chapes et revêtements de ponts [8]. Il faut citer également les utilisations pour lesquelles la faible masse des bétons légers est déterminante. Et, comme ces dernières années, on utilise de plus en plus des bétons légers à hautes performances, l'éventail des utilisations du béton avec granulats légers s'est encore élargi (voir encadré «Bétons légers à hautes performances»).

Kurt Hermann, TFB

### Bibliographie

- [1] Norme SIA 162: «Ouvrages en béton» (édition 1989).
- [2] Directive 33 (édition 1974) relative à la norme SIA 162 (1968): «Béton léger (à base de granulats d'argile ou de schiste expansés)».
- [3] Weigler, H., et Karl, S., «Beton: Arten – Herstellung – Eigenschaften», Ernst & Sohn, Berlin (1989), pages 443–465.
- [4] «Wie die ganze Welt des Bauens zu einer runden Sache wird», prospectus de l'entreprise Liapor, D-8551 Pautzfeld (1994).
- [5] «Liapor für konstruktives Bauen», prospectus de l'entreprise Liapor, D-8551 Pautzfeld (1986).
- [6] Vaysburd, A. M., «Durability of lightweight concrete bridges in severe environments», *Concrete International* 18 [7], 33–38 (1996).
- [7] «Placing concrete by pumping methods», reported by ACI Committee 304 in «ACI Manual of Concrete Practice», part 2, pages 304.2R-1 to 304.2R.17 (1996).
- [8] Thienel, K.-C., «Materialtechnologische Eigen-

enschaften der Leichtbetone aus Blähton», documentation pour le séminaire «Leichtbetone im konstruktiven Ingenieurbau» du Centre de formation du TFB du 9 décembre 1996.

- [9] Holm, T.A., Bremner, T.W., and Newman, J. B., «Lightweight aggregate concrete subject to severe weathering», *Concrete International* 6 [6], 49–54 (1984).
- [10] Reinhard, H.-W., «Möglichkeiten des Korrosionsschutzes von Bewehrungsstahl im Leichtbeton», documentation pour le séminaire «Leichtbetone im konstruktiven Ingenieurbau» du Centre de formation du TFB du 9 décembre 1996.
- [11] Kepp, B., und Botros, F. R., «Schwimmende Ölfelderplattformen – Ozeanbauwerke einer neuen Generation», *Beton- und Stahlbetonbau* 90 [11], 277–282 (1995).
- [12] Hermann, K., «Systemes mixtes bois-béton», *Bulletin du ciment* 64 [3], 3–7 (1996).
- [13] Meyer, B., «Consolidation avec du béton léger d'anciens planchers à solives en bois», *Bulletin du ciment* 58 [10], 1–12 (1990).