

# Les bétons lourds

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

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin du ciment**

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

Heft 12

PDF erstellt am: **15.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-146406>

## **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 lourds

## On utilise pour la fabrication des bétons lourds des granulats spéciaux de haute densité.

Les bétons lourds sont des bétons de masse volumique apparente  $\rho_0 > 2800 \text{ kg/m}^3$ . Ils sont utilisés principalement comme béton de radioprotection, c'est-à-dire pour faire écran aux rayons X et aux rayons gamma. D'autres applications sont en particulier les fondations lourdes, les contrepoids pour excavateurs et grues, et les bétons pour coffres-forts.

Les bétons lourds ne peuvent pas être fabriqués avec les granulats utilisés habituellement, dont la densité se situe aux environs de  $2,65 \text{ kg/dm}^3$ ; ces granulats doivent être remplacés entièrement ou partiellement par des granulats lourds.

### Les granulats lourds

Les granulats lourds permettent de produire des bétons de masse volumi-

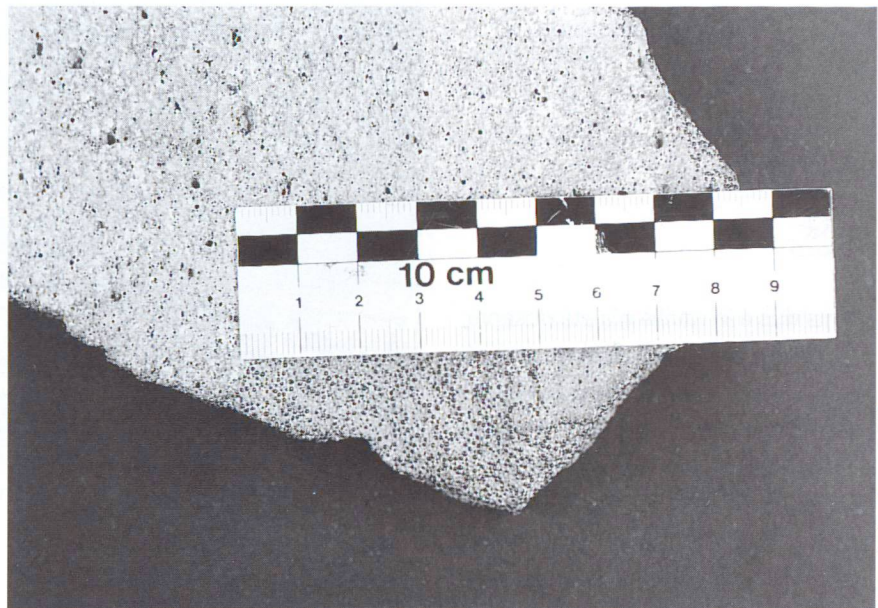


Photo: Stefan Brunner, TFB

**Béton lourd de masse volumique de  $4760 \text{ kg/m}^3$  avec sable de fer (fractions granulométriques 0,1–0,2 mm, 0,3–0,6 mm et 0,5–1,0 mm) comme granulats lourds.**

que de 2800 à env.  $5900 \text{ kg/m}^3$ .

Ils peuvent être divisés en groupes, comme suit:

- granulats à granulation naturelle (baryte, magnétite)
- granulats naturels fragmentés mécaniquement (baryte, magnétite, hématite)

- granulats artificiels (particules d'acier, minerais agglomérés, ferrosilicium)

Les principaux granulats lourds et les masses volumiques du béton qu'ils permettent d'obtenir, ainsi que leur effet en tant que matériau de blindage, figurent dans le *tableau 1*. Le plomb et les roches plombifères ne conviennent pas comme granulats lourds, car ils réagissent avec le ciment et peuvent nuire à la prise.

### Formules de bétons

Les mélanges de granulats lourds, de gravier et de sable naturel donnent des bétons lourds de masse volumique allant jusqu'à environ  $3800 \text{ kg/m}^3$ . Pour obtenir des masses volumiques proches de  $5900 \text{ kg/m}^3$ , il faut ajouter du fer ou de l'acier. Bien que les granulats ferreux se trouvant à la surface du béton soient corrodés sur une profondeur de quelques millimètres, aucun dégât causé par des éclate-

Granulats	Densités [ $\text{kg/dm}^3$ ]	Blindage contre
Spath pesant, baryte ( $\text{BaSO}_4$ ) (matériau cristallin et amorphe)	4,0–4,3	rayons X, rayons gamma
Magnétite ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )	4,65–4,8	rayons gamma
Fer oligiste, hématite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) très dur	4,7–4,9	rayons gamma
Ilménite ( $\text{FeTiO}_3$ ) fer titané	4,55–4,65	rayons gamma
Ferro-phosphore sous-produits de l'extraction du phosphore	5,8–6,2	rayons gamma
Ferrosilicium sous-produits de la fabrication de corindon fondu, bon matériau à résistance mécanique élevée pour chapes et bétons résistant à l'abrasion	6,0–6,2	rayons gamma
Granulats ferreux	6,8–7,5	rayons gamma
Grenaille d'acier granulométrie 0,2–3 mm	7,5	rayons gamma

**Tab. 1 Densités de granulats lourds et effet de blindage des bétons fabriqués avec ces granulats [1, 2].**



ments dus à la rouille n'a été observé, même à l'extérieur [1].

Pour l'élaboration des formules de béton, on se réfère fréquemment à des valeurs empiriques provenant d'autres projets de construction ou à des formules indicatives données par les fournisseurs de granulats lourds. Quatre formules pour bétons lourds de masse volumique entre 3500 et 4200 kg/m<sup>3</sup> figurent dans le *tableau 2*. Il sera traité d'autres formules au cours de cet article.

Le besoin en eau des granulats lourds naturels ne diffère généralement pas de celui des granulats ordinaires. Les granulats artificiels ferreux témoignent même d'un plus faible besoin en eau, si le pourcentage de fines (0–2 mm) n'est pas trop élevé. Souvent les éléments de construction en béton lourd sont également des

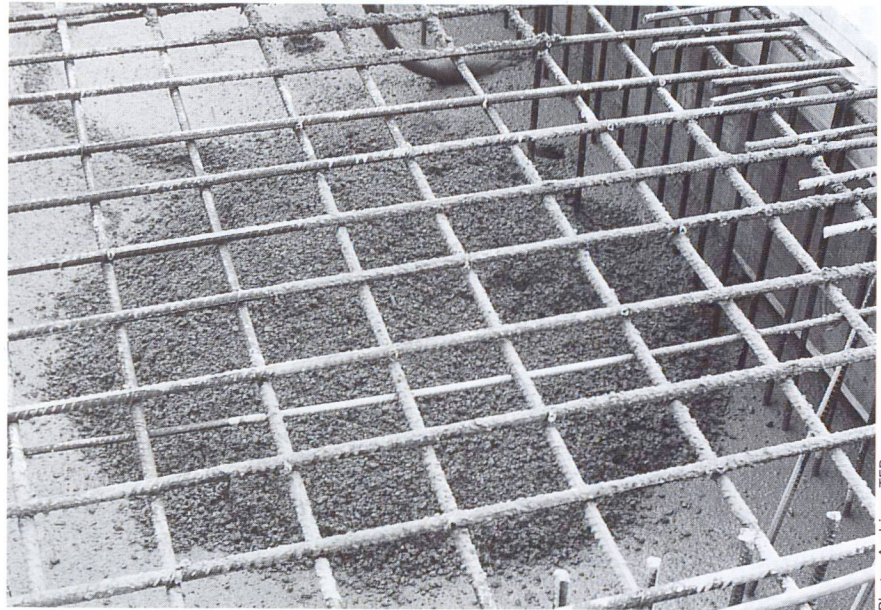


Photo: Archives TFB

#### Mise en place de béton de protection contre les radiations avec baryte comme granulats lourds.

éléments massifs. On peut utiliser pour ces éléments des ciments dont la chaleur d'hydratation est aussi faible que possible. Les quantités d'eau de gâchage aussi réduites que possible entraînent le danger de fissures de retrait, ce qui généralement exige l'utilisation d'adjuvants (plastifiants ou superfluidifiants).

#### Fabrication et mise en place

On applique généralement pour les bétons lourds les mêmes principes de base de la technologie du béton que pour les bétons ordinaires. Lors-

que l'on s'en écarte, c'est surtout pour des raisons de différences de densité.

#### Malaxage

Les bétons lourds sont fabriqués dans des mélangeurs horizontaux ou à bac usuels. Mais il faut prendre en considération que ces installations sont dimensionnées pour des bétons ordinaires, dont la masse volumique, à l'état frais, est d'env. 2500 kg/m<sup>3</sup>, ce qui signifie que les quantités de remplissage sont à réduire en conséquence. La durée du malaxage est un facteur critique, et doit être déterminée

Matière	Masse volumique vraie ou apparente [kg/dm <sup>3</sup> ]	Masse des matières en kg/m <sup>3</sup> pour masse volumique du béton [kg/m <sup>3</sup> ]			
		3500	3500	> 3800	4200
Ciment	3,0	300	300	300	300
Eau	1,0	170	170	170	170
Gravier/sable	2,6	420	–	–	–
Baryte	3,95	–	1610	–	–
Hématite	4,85	2680	1490	3470	2860
Granulats ferreux	7,5	–	–	–	940

Tab. 2 Formules indicatives pour bétons lourds [2].





Partie de mur en béton lourd (à l'arrière) et béton ordinaire (bloc de radio-protection pour deux accélérateurs linéaires à l'hôpital cantonal de Lucerne).

au moyen d'essais préliminaires. Si la durée du malaxage est trop courte, le béton frais n'est pas homogène, et si elle est trop longue, l'abrasion des granulats peut s'amplifier.

#### Transport et mise en place

Pendant le transport, les bétons lourds doivent être en mouvement, afin de ne pas entrer en ségrégation. La mise en place peut se faire avec les procédés usuels, éventuellement aussi par pompage. Le béton devrait être amené aussi près que possible du point de mise en place. Le risque de ségrégation est particulièrement grand avec les bétons lourds à granulats de différentes masses volumiques granulaires, et cela même avec de faibles hauteurs de chute. Ce qui est valable pour le béton ordinaire, l'est doublement pour le béton lourd, c'est-à-dire ne pas répartir le béton avec le vibreur!

#### Compactage

Le béton lourd de bonne composition se prête bien au compactage. Le rayon d'action des vibreurs est toutefois plus petit que dans le béton ordinaire; seuls des essais préalables permettent de trouver les appareils de fréquences et de diamètres

d'aiguilles appropriés. Pendant le vibrage, les granulats lourds descendent plus rapidement que les granulats ordinaires. Mais la ségrégation peut être évitée dans une large mesure si, dans le béton frais, le mortier est visqueux et pauvre en eau. Le vibrage doit être en outre d'aussi courte durée que possible, et effectué avec des espacements et des profondeurs de pénétration aussi faibles

que possible. Le béton des éléments de construction minces peut être vibré avec des vibreurs de surface ou vibreurs de coffrage. Les joints de reprise doivent être évités dans toute la mesure du possible. Lorsque des interruptions sont inévitables, il faudrait reprendre le bétonnage après 4 à 8 heures au plus tard. Il faut alors commencer par éliminer au jet d'eau sous pression la laitance de la couche de béton précédente, jusqu'à ce que les gros grains soient à nu. L'eau restante doit être ensuite

## Rayonnement radioactif

Le rayonnement radioactif se produit lors de la désintégration des noyaux d'atomes radioactifs. Il se forme alors de nouveaux noyaux d'atomes dont l'énergie est plus faible. La différence d'énergie entre les deux sortes de noyaux d'atomes est contenue dans le rayonnement radioactif. Le rayonnement radioactif peut être corpusculaire ou ondulatoire.

#### Le rayonnement corpusculaire

se compose de particules libérées lors de la fission de l'atome. On distingue entre

- rayonnement alpha (rayons  $\alpha$ ), qui se compose de noyaux d'hélium à double charge positive ( $\text{He}^{2+}$ ),
- rayonnement beta (rayons  $\beta$ ), qui se compose d'électrons, et
- rayonnement neutronique, qui se compose de particules électriquement neutres, les neutrons.

#### Le rayonnement ondulatoire

- Le rayonnement gamma (rayonnement  $\gamma$ ) se produit lorsque l'énergie libérée lors de la désintégration radioactive est émise sous forme d'ondes électromagnétiques qui, du point de vue physique, sont comparables au rayonnement X et à la lumière visible.
- Le rayonnement X est produit artificiellement sous vide, en bombardant la matière avec des électrons accélérés, ce qui freine fortement les électrons. Une partie de leur énergie cinétique est transformée en rayonnement X (rayonnement de freinage).

Les rayons  $\alpha$  et  $\beta$  ne pénètrent que peu dans les matériaux, et leur action sur les propriétés de ces matériaux est donc également faible. C'est pourquoi seuls les rayons  $\gamma$  ou X et le rayonnement neutronique doivent être pris en considération en ce qui concerne l'influence exercée sur le béton par le rayonnement.



Les deux blocs de lest inférieurs de la grue reproduite partiellement sur cette photo sont en béton lourd. De l'hématite 4–24 mm a servi de granulats lourds.

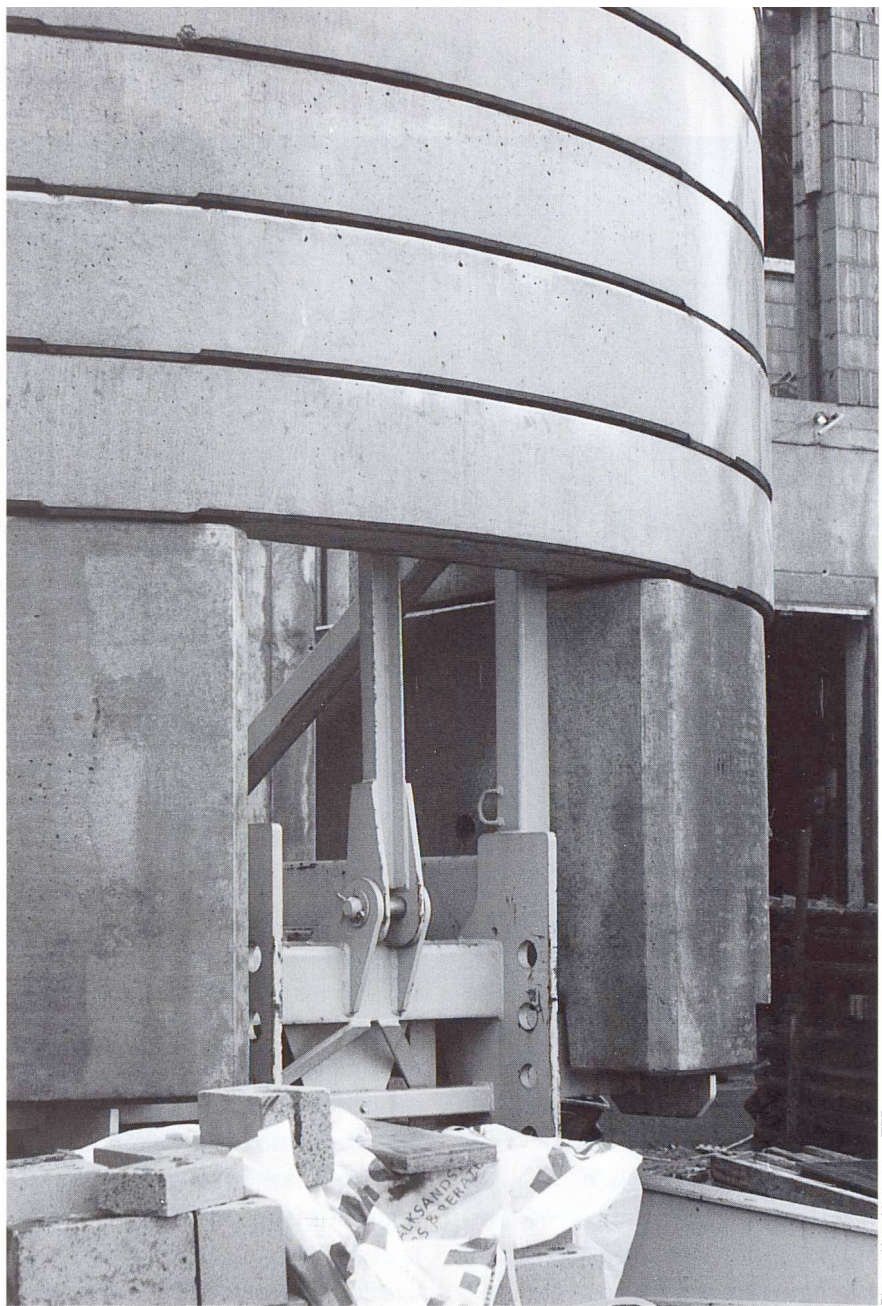


Photo: Kurt Hermann, TFB

éliminée au moyen d'air comprimé, car la surface du béton ne doit être que faiblement humide lors de la reprise du bétonnage.

Le coffrage doit être prévu en tenant compte de la masse volumique plus grande du béton frais. Avec du mortier lourd, les trous laissés dans le béton par les ligatures ne se comblent que difficilement. C'est pourquoi il faut préférer des ligatures ou écarteurs qui restent dans le béton [1].

#### Traitement de cure

Le traitement de cure du béton ne doit jamais être négligé, et il faut le soigner particulièrement pour le béton de radioprotection qui ne doit pas présenter de fissures. Les procédés possibles, utilisables isolément ou combinés, comprennent:

- le maintien humide,
- les délais plus longs pour le décoffrage,
- l'application de curing compounds,
- le recouvrement avec des feuilles plastiques ou autres.

Si la cure consiste à maintenir humide le béton de radioprotection, ce qui est très efficace, le traitement doit durer au moins 14 jours [1].

#### Le béton lourd comme protection contre les radiations

Le rayonnement radioactif (voir encadré) modifie la structure et les propriétés des matériaux. Cela s'applique également au béton, dont la résistance au rayonnement est déterminée pour l'essentiel par celle des granulats [3].

Plus la densité d'un béton est élevée, plus l'effet protecteur contre le rayonnement gamma est grand. Dans le béton lourd, l'effet d'écran au rayonnement radioactif entraîne une élévation de la température, qui peut se traduire par une réduction du module

#### Bibliographie

- [1] «Merkblatt für das Entwerfen, Herstellen und Prüfen von Betonen des bautechnischen Strahlenschutzes», éditée par le Deutsche Beton-Verein E.V. (version 1978).
- [2] *Wandschneider, R., et Pick, R.*, «Betone, Mauerwerk, Estrich und Putz im bautechnischen Strahlenschutz», *Beton-Informationen* **1982** [5], 47–50.
- [3] *Weigler, H., et Karl, S.*, «Beton: Arten – Herstellung – Eigenschaften», Ernst & Sohn, Berlin (1989), pages 64–65, 162 und 420–421.
- [4] *Turley, M.*, «Schutzräume aus Stahlbeton», *Beton* **37** [12], 491–494 (1987).
- [5] *Hilsdorf, H. K., Kropp, J., et Koch, H.-J.*, «Der Einfluss radioaktiver Strahlung auf die mechanischen Eigenschaften von Beton», *Deutscher Ausschuss für Stahlbeton* **261**, 1–41 (1976).
- [6] *Wesche, K.*, «Baustoffe für tragende Bauteile», Bd. 2, 3. Aufl., Bauverlag GmbH (1993), pages 104, 330.
- [7] *Erbe, M., et Schulte, F.*, «Schutz durch Schwerbeton», *Beton* **40** [10], 434 (1990).
- [8] *Herr, R.*, «Schwerbeton für Klinikum», *Beton* **45** [3], 197 (1995).
- [9] *Meyer, B.*, «Béton lourd», *Bulletin du ciment* **57** [23], 1–12 (1989).
- [10] «Mit Schwerbeton ummantelte Stahlrohre für Nordsee-Gasleitung», *Beton- und Stahlbetonbau* **87** [1], 18 (1992).



d'élasticité ainsi que de la résistance à la compression et, encore plus accentuée, à la traction. Il influe beaucoup moins sur la dilatation thermique et la conductivité thermique [4–6].

Pour les abris de protection civile, le béton est généralement le meilleur matériau. En raison de son prix élevé, le béton lourd n'est utilisé qu'exceptionnellement dans ce domaine, ce qui n'est pas le cas pour les réacteurs atomiques.

### Le béton lourd dans le domaine médical

Dans le domaine médical, les bétons lourds servent de radioprotection. En Allemagne, on utilise en moyenne 300 m<sup>3</sup> de béton de radioprotection pour la construction de chaque hôpital [3]. Un exemple: dans les cliniques municipales de Duisburg, l'accélérateur linéaire pour la radiothérapie travaille avec la photonothérapie et l'électronothérapie. Il est logé dans un corps cylindrique, dont les parois ont de 97 à 173 cm d'épaisseur. On a utilisé du béton lourd uniquement aux endroits qui peuvent être touchés par le rayonnement.

La composition du béton lourd, lequel selon les données du maître de l'ouvrage devait avoir une masse volumique d'au moins 3200 kg/m<sup>3</sup>, était la suivante:

granulats (baryte, $\rho_0 = 4,15 \text{ kg/dm}^3$ )	2801 kg/m <sup>3</sup>
46 % sable de baryte	0–4 mm
54 % baryte	4–16 mm
ciment de haut fourneau (réagit lentement!)	370 kg/m <sup>3</sup>
eau de gâchage	190 l/m <sup>3</sup>
rapport eau/ciment	0,51
BV (par rapport au ciment)	0,3 %

Le béton lourd obtenu avait une masse volumique de 3360 kg/m<sup>3</sup> [7].

La formule utilisée pour la partie en béton lourd du local de radiologie de la clinique de Wuppertal était très proche. Les murs et dalles en béton ordinaire et béton lourd ont été bétonnés frais sur frais, à un rythme régulier [8].

Le bloc de radioprotection de l'hôpital cantonal de Lucerne a déjà été décrit dans un précédent «Bulletin du ciment» [9]. Nous ne mentionnerons donc ci-après que la formule du béton lourd, dont la masse volumique était de 3327 kg/m<sup>3</sup>:

baryte 0–16 mm (2,4 % d'humidité propre)	2640 kg/m <sup>3</sup>
gravier 4–8 mm	126 kg/m <sup>3</sup>
gravier 8–16 mm	126 kg/m <sup>3</sup>
liants ciment	275 kg/m <sup>3</sup>
cendres volantes	50 kg/m <sup>3</sup>
eau ajoutée	107 kg/m <sup>3</sup>
HBV (par rapport au liant)	3 %
facteur eau/ciment	0,51
compactage	1,26
résistance à la compression à 28 jours	43 N/mm <sup>2</sup>

### Une utilisation spéciale

Pour le gazoduc allant du gisement de gaz de Sleipner en mer du Nord à Zeebrugge en Belgique, on a utilisé des tuyaux en acier de 12,2 m de longueur et 100 cm de diamètre. Ces tuyaux ont été enrobés de deux couches de bitume (6 à 8 mm d'épaisseur) renforcées de fibres de verre, sur lesquelles on a appliqué du tissu de fibres de verre et une couche de chaux. On a ensuite projeté là-dessus, sous pression élevée, une couche de béton lourd de 100 mm d'épaisseur. Une double couche de tissu de fils d'acier galvanisé a servi d'armature. Un mètre cube de béton contenait 1850 kg de minerai de fer (diamètre de grain maximum 8 mm), 500 kg de sable et 500 kg de ciment de haut fourneau. Après un développement de la résistance accéléré par un traitement à la vapeur, on a obtenu un béton d'une masse volumique de 3040 kg/m<sup>3</sup> et d'une résistance à la compression de 40 N/mm<sup>2</sup>. L'enrobage en béton lourd a été effectué pour deux raisons: d'une part il agit contre la poussée verticale, et d'autre part il protège contre les dégâts dus aux chaluts et aux chaînes d'ancre [10].