

Les bétons à hautes performances

Autor(en): **Meyer, Bruno**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin du ciment**

Band (Jahr): **58-59 (1990-1991)**

Heft 24

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-146253>

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.

BULLETIN DU CIMENT

DECEMBRE 1991

59E ANNEE

NUMERO 24

Les bétons à hautes performances

Matériau axé sur l'efficacité. Performances et construction. Composition appropriée.

On entend par *performances* les propriétés dont témoigne un béton à l'usage. Ces performances se manifestent lors de la fabrication et de l'utilisation du béton, mais pour qu'elles puissent être évaluées, il faut d'abord que les conditions de fabrication et l'utilisation future soient définies. Comme à l'ordinaire, le mot béton désigne ici le matériau composé de pâte de ciment durcie et de granulats, la pâte de ciment se composant à l'état frais de ciment, d'eau et éventuellement d'autres composants. La composition d'un béton repose toujours sur un projet de mélange.

Axer le matériau sur l'efficacité

En tant que *matériau de construction*, le béton a des caractéristiques techniques, économiques et esthétiques, dont l'ensemble constitue la qualité. Les performances concernent en premier lieu le technico-économique. Elles devraient ensuite assurer un aspect satisfaisant des surfaces apparentes. Elles sont déterminantes lorsque, en raison d'intérêts technico-économiques, on veut les améliorer. Vu que le béton se fabrique dans des conditions de chantier, ses performances – ou leur amélioration – impliquent l'intervention du maître de l'ouvrage, de l'ingénieur, de l'entrepreneur et du fournisseur du matériau. Ces derniers déterminent ainsi la qualité du béton. Maître de l'ouvrage et ingénieur élaborent le projet de la construction prévue

2 et font un appel d'offre, alors que l'entrepreneur soumissionne un ouvrage. Chacun d'eux a des exigences propres, et certaines sont en contradiction. Dans un cas d'espèce, il appartient à celui qui élabore le projet d'équilibrer ces contradictions. Les performances du béton n'en sont qu'une partie, mais dès qu'elles deviennent déterminantes, il faut que l'on puisse se rendre compte avec précision des propriétés du matériau. Si l'on ne peut s'appuyer ni sur des normes ni sur ses propres expériences, il faut alors, dans le cas du béton, se livrer à un travail de base supplémentaire qui, passant par les essais préliminaires, va du projet de mélange à la formule du béton. Quant à savoir si cet effort doit être fourni par le maître de l'ouvrage ou par l'entrepreneur, et s'il en résultera une amélioration des performances, cela dépend des *objectifs* visés dans le cas d'espèce. D'une part, on ne peut pas établir une formule appropriée sans connaître les exigences, et d'autre part, les exigences doivent entrer dans le cadre des possibilités techniques.

Il n'est pas possible de connaître intégralement les performances du béton des ouvrages construits, car on ne teste pas tout le temps leur efficacité, et de toute façon pas jusqu'à la limite ultime. Mais il faut tout de même que l'on puisse prévoir comment le béton va se comporter, tant au moment de la fabrication qu'en service. C'est pourquoi, pour définir le matériau, on est obligé de recourir également à des caractéristiques qui ne sont pas axées sur l'application. Elles ont une valeur *descriptive uniquement*. Elles ne sont pas liées à l'utilisation momentanée de l'ouvrage concret, mais elles sont choisies de façon à ce qu'entre elles et les performances, il se crée une relation conforme aux lois physiques. C'est en fonction de l'intérêt qu'elle présente dans le cas concerné qu'une propriété donnée fait partie des performances ou qu'elle est simplement de caractère descriptif. La résistance mécanique ainsi que des propriétés particulières telles qu'étanchéité à l'eau, résistance au gel, etc. font partie des performances du béton durci. Mais dans ce cas, le facteur e/c, la porosité, le dosage en ciment, la composition granulométrique, etc. n'ont en revanche qu'une valeur purement descriptive. Les relations significatives sont par conséquent celles qui existent entre résistance mécanique et facteur e/c ou entre résistance au gel et porosité, mais pas celle entre facteur e/c et porosité.

Pour simplifier les travaux de construction, on a établi des normes. En dehors des règles et dénominations, on trouve dans ces normes les propriétés des matériaux, qui sont précisées par des méthodes d'essai et des articles normalisés. Grâce à cette rationalisation, on peut se limiter à l'essentiel du cas d'espèce, à condition que l'on se soit d'abord assuré de l'applicabilité de la norme concernée. En pratique, cela signifie que l'on tient compte de la relation à laquelle les normes s'appliquent, et que l'on évalue les énoncés généraux par rapport au problème concret. Les grandeurs des normes ne sont pas immuables. Elles sont soumises à des

3 modifications, également en ce qui concerne les performances [1]. Les performances ne servent donc pas de critère uniquement pour les textes de soumission contractuels, mais également pour l'établissement des normes.

Dans la pratique, on énumère souvent diverses performances, ce qui est judicieux lorsque l'on va fabriquer plusieurs sortes de béton. Mais concrètement, les performances d'un béton sont toujours fonction de la relation entre ses différentes propriétés. On peut aussi parler de performances pour des éléments de construction, en béton armé par exemple, ou pour des ouvrages entiers. Dans ce cas, il est question de leur rentabilité et de leur aptitude au service, qui englobent la durabilité, l'aptitude au fonctionnement et l'aspect.

Où commencent les *hautes performances*? – Elles commencent là où de hautes exigences sont posées, que ce soit sur le plan technique ou économique. La désignation de bétons à hautes performances s'applique à des mélanges qui ne font pas encore partie du quotidien. Il s'agit d'un domaine où l'expérience et les normes nécessaires font défaut. Lors de l'étude d'un projet, il faudra d'abord s'entendre sur les paramètres déterminants, ordonner des essais préliminaires en laboratoire et fabriquer des prototypes. On ne pourra pas non plus faire appel à une équipe expérimentée pour l'exécution. Ici aussi, il faudra faire ses expériences avec la main-d'œuvre et les machines. Le terme de BHP – bétons à hautes performances – désigne donc des bétons pour lesquels chaque spécification exige plus ou moins de travail de recherche [2].

Performances et construction

Une *construction* doit réunir sécurité structurale et aptitude au service. Sécurité structurale signifie que la construction est statiquement dans un état d'équilibre et que sa résistance est supérieure à la sollicitation. Ce rapport peut s'exprimer en grandeurs mécaniques (longueur, force) calculées, et est normalisé. Une construction est apte au service si son comportement reste dans les limites prévues. Ces limites, que l'on décrit au moyen de diverses grandeurs, peuvent être admises comme usuelles dans la branche, ou fixées par contrat. Sécurité structurale et aptitude au service sont vérifiées par un ingénieur dans le cadre de l'élaboration du projet, à l'aide d'un plan d'utilisation et d'un plan de sécurité, également établis au cours de l'élaboration du projet. Si les vérifications ne réussissent pas, le constructeur doit modifier son projet. Il dispose à cet effet de différentes possibilités:

- système porteur (portées, éléments de raidissement, assemblages articulés, précontrainte, éléments composites)
- supplément de matériaux (dimensions des sections, armature)
- propriétés des matériaux (choix, performances)

4 Pour l'aptitude au service, on peut en outre revoir le plan d'utilisation et en modifier les limites fixées par contrat, par exemple quant à la rentabilité. Mais pour la sécurité structurale, aucune réduction n'est permise.

Dimensionnement et vérifications sont interdépendants, ce qui exige une procédure itérative, jusqu'à ce que la solution optimale soit trouvée. On utilise habituellement comme marge la consommation de matériaux ou le système porteur. Des modifications des propriétés des matériaux ou du plan d'utilisation sont plutôt rares, particulièrement lorsque le projet est déjà bien avancé. Pour les matériaux, on s'appuiera sur des valeurs représentatives confirmées par de nombreuses expériences, car aussi bien les grandeurs de dimensionnement que la résistance ultime en dépendent.

Pour le constructeur, les *propriétés du béton* les plus intéressantes sont celles qui déterminent le comportement de la structure porteuse: résistances mécaniques, déformations et mécanisme de rupture. Ces propriétés sont en particulier les résistances à la compression, à la traction et à la traction par flexion, le module d'élasticité, ainsi que le fluage et le retrait en tant que comportement à long terme. Elles ne sont toutefois que d'une importance indirecte pour ce qui est du béton armé, car c'est alors en premier lieu le comportement de l'ensemble de la construction qui est déterminant. Donc, si d'un côté l'on améliore les performances du béton, cela ne signifie pas que le comportement de la structure s'en trouve amélioré d'autant. D'un autre côté, des erreurs relevant de la technologie du béton n'ont pas non plus des conséquences catastrophiques. C'est pourquoi le constructeur ne s'intéresse pas en premier lieu à la formule du béton. Son point de vue se trouvera confirmé aussi longtemps qu'il ne jugera du comportement de la structure que sous l'angle de la sécurité. Mais une construction n'assume pas uniquement la fonction de structure porteuse. Dans le plan d'utilisation, l'ingénieur fait un compte rendu de *toutes* les exigences auxquelles doit satisfaire un ouvrage, et des mesures à prendre pour en garantir l'aptitude au service. Ces mesures relevant principalement de la technologie des matériaux de construction, l'aptitude au service d'un ouvrage et les performances du béton sont en relation directe. Il est donc possible d'adapter aux exigences un projet ne présentant pas une aptitude au service suffisante en commençant par améliorer les performances du béton.

Choisir la bonne composition

Pour améliorer les performances du béton, on prend des *mesures quant à sa composition*. C'est pourquoi plusieurs des propriétés du béton sont toujours concernées. Il en résulte les tendances suivantes:

- résistance mécanique plus élevée
- module d'élasticité plus élevé
- fluage plus faible

5 – perméabilité plus faible

Ces facteurs peuvent également avoir pour conséquence une résistance accrue au gel, à la chaleur, aux agressions chimiques, à l'abrasion et à la fissuration. Dans l'ensemble, c'est ainsi la durabilité qui augmente. Pour répondre à ces données, la composition du béton peut être modifiée comme suit:

- déterminer la courbe granulométrique optimale en tenant compte des pourcentages de fines (qualité de sable) et réduire le diamètre maximum du granulat;
- ajouter des additifs (filler, fumée de silice, etc.).

Ces tendances n'évoluent pas toujours dans le même sens. Si – par exemple pour augmenter la résistance au gel en présence de sel – on améliore les performances en ajoutant un entraîneur d'air, la résistance mécanique va diminuer. Mais pour les modifications, l'essentiel est de prendre en considération tous les composants du béton. Ce n'est donc pas comme dans le cas le plus simple, où on les prend comme données pour juste encore calculer le dosage en ciment nécessaire [4].

Toutes ces mesures sont dominées par les *conditions de l'exécution*. La formule du béton doit en effet être adaptée également à l'ouvrabilité du béton frais, au durcissement et, éventuellement, à la résistance initiale. C'est pourquoi les formules citées plus haut doivent être complétées en fonction des besoins. Tout écart de la formule du béton se répercute plus fortement sur les bétons à hautes performances que sur les bétons ordinaires. Il faut en conséquence affiner l'assurance de la qualité. On en retire l'avantage d'une dispersion des valeurs plus faible, ce qui contribue à encore améliorer les performances. Des valeurs mesurées avec une précision accrue sont en outre utiles pour les expériences à long terme: des échecs momentanés peuvent ainsi être corrigés avec succès, au lieu de rester en mémoire comme des exemples à ne pas suivre. Le cadre des coûts relève aussi de l'exécution, qu'il soit imposé par les fonds disponibles ou par les délais.

Pour la *construction en béton armé*, cela signifie réduction des déformations et possibilité de sections plus faibles, les fissures n'apparaissant alors qu'en cas de sollicitation plus élevée [5]. La ductilité n'est pas diminuée, car elle ne dépend pas des propriétés du béton, mais de la section du béton armé [6]. Lors de la comparaison des quantités de matériaux, la quantité concernant l'armature ne compte pas en pour-cent, mais en tonnes. Les coûts purement du béton seront plus élevés, mais ils doivent être évalués dans le cadre de l'ensemble de l'ouvrage.

La part de marché des bétons à hautes performances est encore réduite actuellement. Les investissements pour la formation et l'équipement n'en vont pas moins devenir rentables. Avec les bétons à hautes performances, on travaille aux limites du possible et, en connaissant ces limites, on peut également manier le béton ordinaire avec plus de souplesse. Leur

6 application n'est pas limitée aux exemples spectaculaires telles que tours et buildings. On peut dire que, dans de nombreux cas d'espèce, les problèmes ont été résolus au moyen de formules spécifiques, les performances du béton ayant été ainsi améliorées.

Les bétons à hautes performances contribuent à l'aptitude au service des ouvrages. Ils peuvent être fabriqués sur mesure, comme un complet, ou être proposés en tant que sortes, comme les vêtements de confection. Mais dans les deux cas, il est primordial que la fabrication repose sur une conception axée sur l'efficacité.

Bruno Meyer

Bibliographie

- [1] *Wischers, G.* (1990): «Leistungsfähigkeit» als Kriterium für die Normung von Zement und Beton. *Betonwerk + Fertigteile-Technik*, no 3, p. 51–60
- [2] *Carino, N.J.; Clifton, J.R.* (1991): High-Performance Concrete: Research Needs to Enhance its Use. *Concrete International*, sept. 1991, p. 70–76
- [3] Norme SIA 160 (1989): Actions sur les structures porteuses. Zurich: Société suisse des ingénieurs et des architectes
- [4] TFB Wildegg (1980): Mélanges de béton. *Bulletin du ciment*, no 5
- [5] *Charif, H.* (1991): Réduction des déformations grâce aux bétons à hautes performances. Doc SIA D 068, Zurich: Société suisse des ingénieurs et des architectes, p. 29–39
- [6] *Jaccoud, J.P.* (1991): Dimensionnement des structures en bétons à hautes performances. Doc SIA D 068, Zurich: SIA, p. 41–50

Traduction française: Liliane Béguin

TFB

Pour tous autres renseignements s'adresser au
SERVICE DE RECHERCHES ET CONSEILS TECHNIQUES
DE L'INDUSTRIE SUISSE DU CIMENT WILDEGG/SUISSE
Case postale
Lindenstrasse 10 5103 Wildegg Téléphone 064 57 72 72
Téléfax 064 53 16 27