Zeitschrift: Bulletin du ciment
Herausgeber: Service de Recherches et Conseils Techniques de l'Industrie Suisse du Ciment (TFB AG)
Band: 65 (1997)
Heft: 1

Artikel: Le béton étanche
Autor: Badawy, M. / Hermann, K.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-146423

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

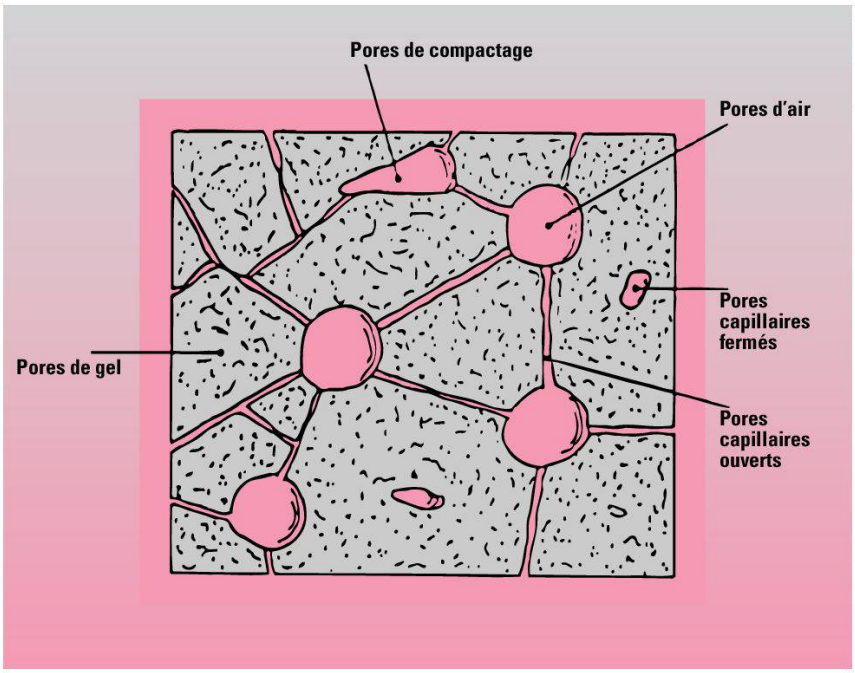
Le béton étanche

Bien que ce que l'on appelle le «béton étanche» ne soit pas absolument étanche à l'eau, il répond néanmoins aux exigences qui lui sont posées, s'il est fabriqué et mis en œuvre soigneusement.

Dans divers ouvrages, le béton remplit non seulement les fonctions usuelles assurant la stabilité, mais également le rôle d'élément d'étanchéité aux liquides. Citons par exemple les cuvelages, réservoirs et tuyaux. L'étanchéité de la structure du béton est en outre d'une importance primordiale pour protéger l'armature contre la corrosion, ainsi qu'en ce qui concerne la résistance aux agressions chimiques.

Le béton est poreux

La teneur en pores de la grave naturelle habituellement utilisée est généralement faible, et n'a pas grande importance en matière d'étanchéité à l'eau du béton. C'est en général la pâte de ciment durcie qui est déterminante. Celle-ci se compose de ciment hydraté et non hydraté, ainsi que de pores remplis d'air ou d'eau. Selon leur type et leur grandeur, on distingue entre les pores suivants: pores de gel, pores capillaires, pores de compactage et pores d'air obtenus artificiellement (voir *figure 1* et *tableau 1)*.



Dessin: TFB / S. Einfalt, ZSD

Fig. 1 Types de pores dans la pâte de ciment durcie.

Les pores capillaires et pores de gel

Les pores capillaires et pores de gel sont également appelés pores d'hydratation, car ils résultent de l'hydratation du ciment.

Les pores de gel

Les produits d'hydratation du ciment forment ce qu'on appelle le gel du ciment. Ce gel peut être comparé à une éponge fine et rigide, contenant de nombreux pores de différentes grandeurs (voir *figure 2)*. La forma-

Tab. 1 Types de pores dans la pâte de ciment durcie et leurs domaines de grandeur [1, 4].

Désignation	Pores de gel	Pores capillaires	Pores de compactage	Pores d'air obtenus artificiellement
			Pores d'air	
Diamètre	10^{-6}–10^{-5} mm	10^{-5}–10^{-3} mm	10^{-2}–10^{0} mm	
Formation	lors de l'hydratation du ciment	provenant de l'excédent d'eau de gâchage	due à la mise en œuvre du béton	due à un adjuvant (LP)

Photo: archives du TFB

Fig. 2 Le gel de ciment se compose de produits d'hydratation enchevêtrés, en aiguilles ou plus gros.

tion de ces pores relève du fait que les produits d'hydratation du ciment occupent un espace plus petit que le ciment et l'eau chimiquement fixée ultérieurement.
Les pores de gel sont remplis d'eau fixée physiquement, laquelle ne s'évapore pas si la dessication se produit de manière usuelle. C'est pourquoi, dans des conditions normales, les pores de gel sont pratiquement imperméables aux gaz et aux liquides. L'eau de gel peut être expulsée en amenant le béton à une température de 105 °C. Le volume maximal des pores de gel formés lorsque l'hydratation du ciment est complète représente environ 28 % du volume du gel. Ce volume peut être calculé selon la formule suivante [2]:

$$V_G = 0{,}198\,\alpha\,C \quad [l/m^3]$$

C = dosage en ciment en kg/m³ de béton
α = degré d'hydratation du ciment; $0 \le \alpha \le 1$

Pour un béton avec un dosage en ciment C de 300 kg/m³ et une hydratation complète du ciment (α = 1), le volume des pores de gel V_G est ainsi de 59,4 l/m³ ou 5,9 % du volume de la pâte de ciment durcie.

Les pores capillaires
Pour obtenir une hydratation complète du ciment, il faut que le rapport e/c soit d'environ 0,40. Les pores capillaires résultent des vides qui sont remplis par l'eau excédentaire. C'est lors du gâchage du béton que la proportion de pores capillaires est la plus grande; cette proportion diminue en même temps que l'hydratation augmente, car les masses de gel qui se forment réduisent le volume de pores.
Les pores capillaires sont en partie isolés, et en partie reliés. Étant donné que les pores capillaires sont en moyenne environ 100 fois plus grands que les pores de gel, le transport d'eau et de gaz dans ces pores, lorsqu'ils sont reliés, est proportionnellement plus rapide. Le volume des pores capillaires V_K se calcule selon la formule suivante [2]:

$$V_K = W - 0{,}386\,\alpha\,C \quad [l/m^3]$$

E = teneur en eau du béton frais en l/m³ de béton
C = dosage en ciment en kg/m³ de béton
α = degré d'hydratation du ciment; $0 \le \alpha \le 1$

Le volume de pores capillaires dépend donc directement du rapport e/c. Pour un béton avec un dosage en ciment C de 300 kg/m³, il en résulte, avec hydratation complète (α = 1) et un rapport e/c de 0,5, un volume de pores capillaires V_K de 3,4 %. Avec e/c = 0,6, V_K est de 6,4 %, et avec e/c = 0,7, de 9,4 %.

Les pores d'air

Dans le domaine usuel d'utilisation, les pores d'air n'ont que peu d'influence sur l'étanchéité des bétons. C'est surtout pour la résistance au gel et aux fondants chimiques qu'ils ont de l'importance, et c'est pourquoi nous n'en traiterons ici que brièvement.
En fonction de leur origine, on distingue entre pores de compactage et pores d'air obtenus artificiellement. Dans un béton bien compacté, les pores d'air ne sont pas contigus, et ne sont reliés que par les pores capillaires et de gel.

Les pores de compactage
Ils se forment lors de la fabrication et de la mise en œuvre du béton, et

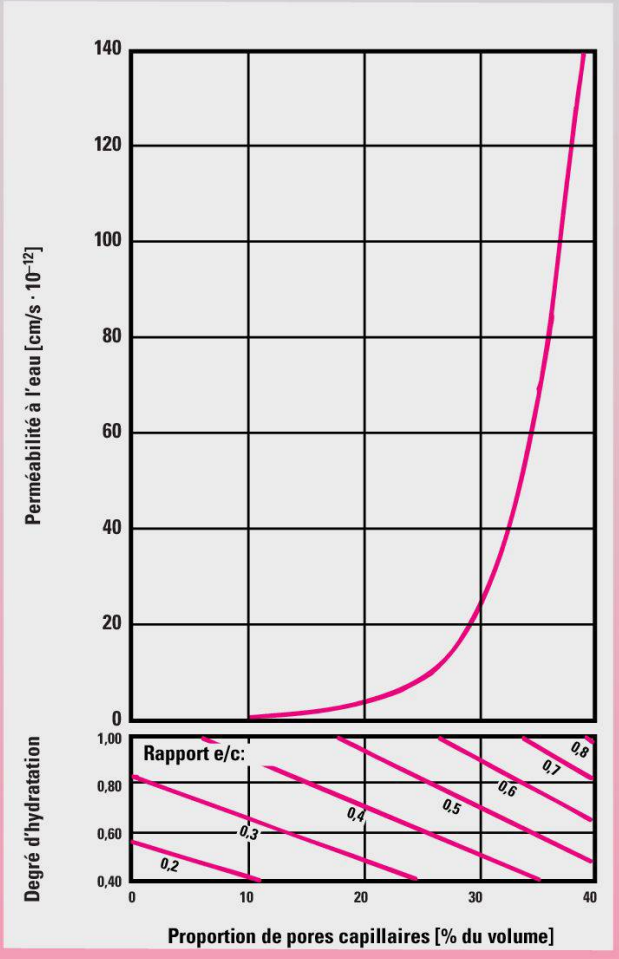


Fig. 3 Relation entre porosité capillaire et perméabilité à l'eau de la pâte de ciment durcie en fonction du rapport e/c et du degré d'hydratation (selon *Powers)* [4].
Dessin: TFB / S. Einfalt, ZSD

sont dus par exemple à des bulles d'air ou à l'élimination d'eau. Dans un béton bien compacté, les pores de compactage représentent quelque 1 à 2 % du volume de la pâte de ciment durcie.

Les pores d'air obtenus artificiellement
Les pores d'air obtenus artificiellement se forment lors du malaxage du béton, par suite de l'action d'entraîneurs d'air (LP). Leur quantité dépend du dosage en adjuvant et représente quelques pour cent en volume [3].

Le béton étanche

Les raisons pour lesquelles de l'eau pénètre dans le béton sont multiples. Celles à relever sont:

- la pression hydrostatique
- la chute de pression de vapeur
- l'absorption capillaire

Plus le rapport e/c d'un béton est bas, moins ce béton contient de pores capillaires et plus sa perméabilité à l'eau est faible. Les rapports entre porosité capillaire et perméabilité à l'eau en fonction du degré d'hydratation et du rapport e/c sont présentés à la *figure 3*. Avec un rapport e/c jusqu'à 0,6, la perméabilité à l'eau n'augmente que peu, mais elle s'élève rapidement une fois passé ce seuil.
Il ressort également de la *figure 3* que la perméabilité à l'eau de la pâte de ciment durcie (et donc du béton) est faible lorsque la proportion de pores capillaires ne dépasse pas quelque 25 % du volume de la pâte de ciment durcie. Ces conditions sont remplies par exemple dans les cas suivants:

- rapport e/c = 0,40 et degré d'hydratation α d'au moins 0,60 (âge du béton environ un mois)
- rapport e/c = 0,50 et degré d'hydratation α d'au moins 0,80 (âge du béton environ un an)

La fabrication de béton étanche

La fabrication de béton étanche exige beaucoup d'attention. Quelques points dont il faut tenir compte sont mentionnés ci-après [4]:

- La composition granulométrique des *granulats* doit être soigneusement choisie. L'étanchéité dépendant à peu près exclusivement de la pâte de ciment durcie, on peut également utiliser des granulats légers poreux, à condition toutefois qu'ils ne contiennent pas d'impuretés qui nuisent à l'étanchéité de la pâte de ciment durcie.
- Il n'est pas toujours nécessaire d'utiliser des *adjuvants*. Les plastifiants (BV) et superfluidifiants (HBV) peuvent être utiles pour abaisser le rapport e/c; quant aux pores d'air obtenus avec un entraîneur d'air (LP), ils bloquent le système capillaire. En ce qui concerne les étanchéifiants (DM), leur efficacité est limitée. Si l'on prévoit des joints de reprise, il ne faut pas utiliser de DM hydrofuges, car les joints ne seraient alors pas étanches [5].
- Les *ajouts* pouzzolaniques ou de nature hydraulique latente ralentissent le processus d'hydratation. La perméabilité du béton est ainsi plus élevée au début que celle des bétons comparables sans ajouts. A condition que le traitement de cure soit fait soigneusement (maintien humide de longue durée), la structure du béton devient avec le temps plus compacte. Les bétons à hautes performances

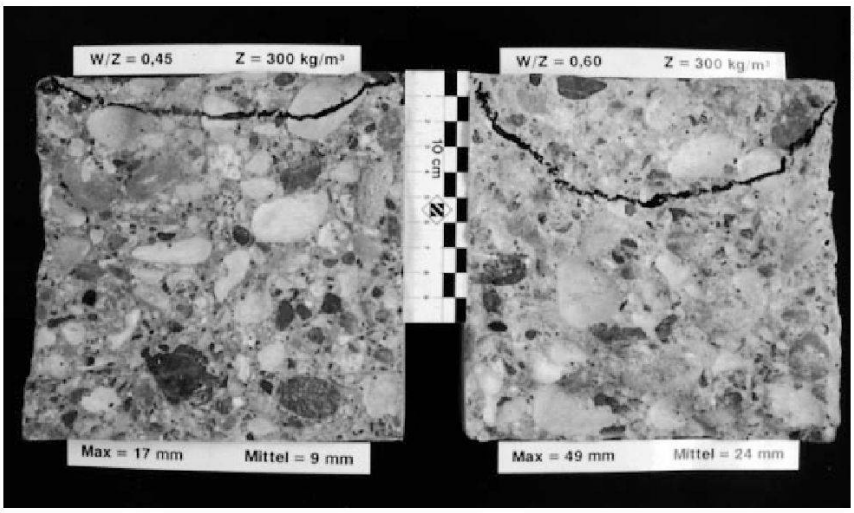


Photo: TFB

Fig. 4 Essai d'imperméabilité à l'eau selon ISO 7031: la profondeur de pénétration de l'eau est déterminée sur des éprouvettes fendues (ici deux cubes de béton contenant du CEM I 42,5).

qui ont des rapports e/c aussi bas que les bétons normaux, et qui contiennent de la fumée de silice, présentent comparativement moins de pores capillaires, et sont ainsi moins perméables à l'eau [6].

- *Mise en œuvre:* les bétons avec un étalement entre 380 et 450 mm ont fait leurs preuves. Il faut veiller à ce que le compactage soit soigné et complet, et exécuté avec des vibrateurs à haute fréquence.
- Le *traitement de cure* exige une attention particulière, car l'étanchéité de la pâte de ciment durcie augmente parallèlement au degré d'hydratation α. Normalement, il est conseillé de poursuivre le traitement de cure (maintien humide) pendant sept jours au moins.

Les normes

Le fait qu'un béton soit étanche ne signifie aucunement qu'il n'y a pas de transport d'eau dans ce béton. Selon la norme SIA 162/1, essai no 5 [7], un béton est considéré comme étanche lorsque l'évaporation d'eau par la face non immergée est supérieure à l'absorption d'eau (= perméabilité du béton) à travers la face imprégnée. Pour l'essai de perméabilité à l'eau, on utilise des carottes prélevées sur l'ouvrage ou sur des éprouvettes confectionnées séparément. Les carottes sont séchées à 50 °C pendant deux jours, puis plongées dans l'eau sur 3 mm de profondeur (20 °C / hum. rel. > 95 %). L'absorption d'eau de la carotte est mesurée après 24 heures. L'essai est terminé lorsque la face supérieure de l'éprouvette est humide (après 10 à 21 jours).

A partir de l'absorption d'eau et de la géométrie de l'éprouvette, on peut calculer la perméabilité à l'eau q_{wb} du béton pour un élément de construction d'épaisseur déterminée. (Si l'épaisseur de l'élément de construction n'est pas connue, on la suppose de 200 mm.)

Nous savons par expérience que les perméabilités à l'eau q_{wb} des bétons bien mis en œuvre et soumis à un bon traitement de cure, dont le dosage en ciment est de 300 kg/m^3, sont à peu près les suivantes:

Rapport e/c	**q_{wb}** [g/m^{2}h]
0,40	ca. 5
0,45	ca. 8
0,50	ca. 10

Bibliographie

Le présent article est basé en grande partie sur des documents utilisés au TFB pour des cours sur le béton étanche et sur le béton résistant au gel et aux fondants chimiques. Les autres sources sont:

[2] *Rösli, A.,* et *collaborateurs,* «Frost- und Frosttausalzbeständigkeit von Beton», rapport final concernant le projet de recherche 9/78 de l'Institut pour les matériaux de construction, la chimie des matériaux et la corrosion, de l'EPFZ (mars 1983).

[2] *Studer, W.,* «Porosität des Betons», Empa-Bericht 10 747/1 (1980).

[3] *Hermann, K.,* «Les adjuvants: LP», Bulletin du ciment **62** [11], 2–7 (1994).

[4] *Weigler, H.,* et *Karl, S.,* «Beton: Arten – Herstellung – Eigenschaften», Ernst & Sohn, Berlin (1989).

[5] *Fiedrich, A.,* et *Vinkeloe, R.,* «Weisse Wannen», Beton-Informationen **34** [6], 71–78 (1994).

[6] *Nischer, P.,* «Hochleistungsbeton – Verbesserung besonderer Eigenschaften», Betonwerk + Fertigteil-Technik **61** [1], 76–84 (1995).

[7] Norme SIA 162/1: «Ouvrages en béton – Essais des matériaux» (édition 1989).

[8] ISO 7031: «Concrete, hardened – Determination of the depth of penetration of water under pressure».

[9] Prénorme SIA V 162.051: «Béton: performances, production, mise en œuvre et critères de conformité» (édition 1994).

[10] DIN 1048, partie 5: «Prüfverfahren für Beton – Festbeton, gesondert hergestellte Prüfkörper» (édition juni 1991).

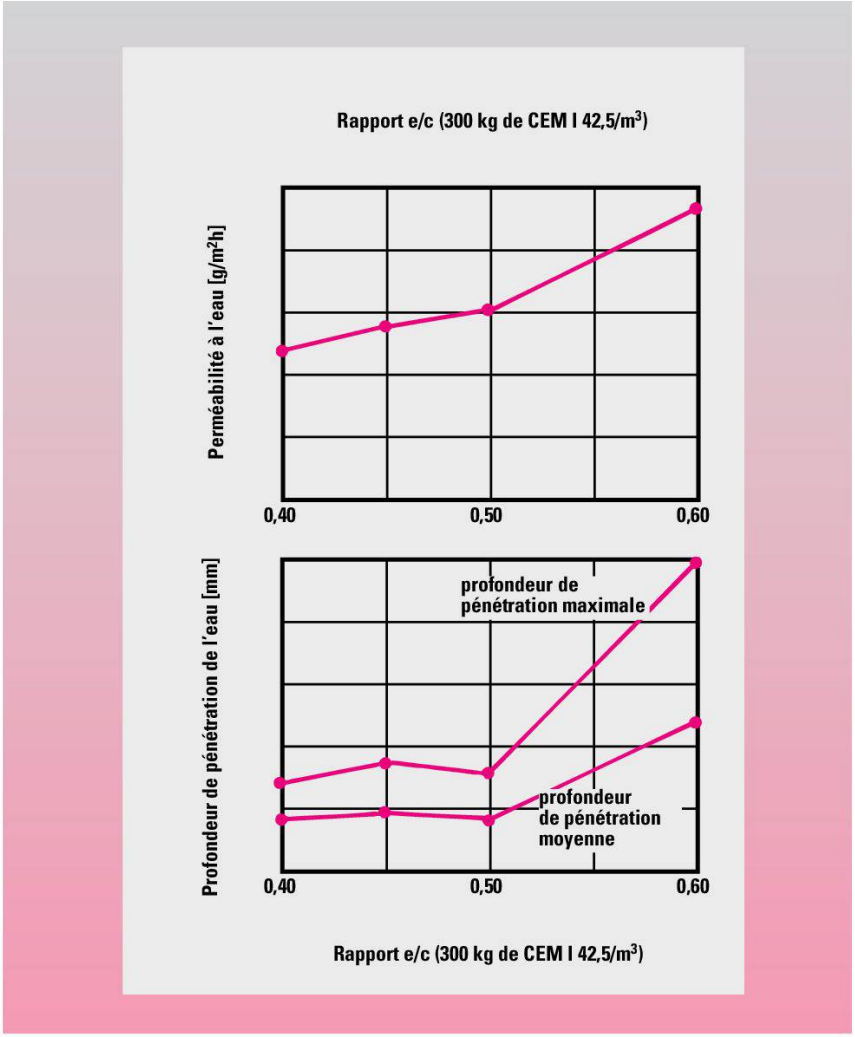


Fig. 5 Comparaison des résultats d'un essai de perméabilité à l'eau selon norme SIA 162/1, essai no 5, avec les résultats d'un essai d'imperméabilité à l'eau selon ISO 7031 (mesures individuelles; résultats du TFB non publiés).
Graphique: TFB / S. Einfalt, ZSD

La perméabilité à l'eau q_{wb} déterminée au moyen d'essais est comparée avec la quantité minimale d'eau évaporable q_d, laquelle est donnée dans un diagramme figurant dans la norme SIA 162/1. Avec 20 °C, vent nul et une humidité relative de 70 %, q_d est par exemple de 20 g/m²h. Les bétons figurant dans le tableau ci-dessus sont par conséquent étanches dans de telles conditions climatiques.
On peut également remplacer l'essai SIA décrit par l'essai d'imperméabilité à l'eau selon ISO 7031 [8]. La méthode correspond à l'essai normalisé mentionné dans la norme ENV 206 ou la prénorme SIA V 162.051 [9]. L'essai est effectué sur des cubes de 150 à 300 mm de côté ou sur des cylindres de 150 à 300 mm de diamètre. Les échantillons sont d'abord mis dans l'eau pendant 28 jours, puis une des surfaces est exposée à une pression hydraulique augmentant progressivement: 48 h à 1 bar, 24 h à 3 bars et 24 h à 7 bars. L'échantillon peut sécher par ses faces latérales. La profondeur de pénétration de l'eau est déterminée visuellement sur des éprouvettes fendues *(figure 4)*. Les bétons avec des profondeurs de pénétration moyennes inférieures à 20 mm et des profondeurs de pénétration maximales inférieures à 50 mm sont considérés comme imperméables à l'eau.

On peut également effectuer avec le même appareillage (voir *frontispice)* l'essai d'imperméabilité à l'eau selon DIN 1048, lequel est presque semblable à l'essai ISO. Il s'en distingue par la grandeur, la direction et la durée de la pression exercée.
Des analyses provisoires effectuées au TFB démontrent que les essais selon SIA 162/1 et selon ISO 7031 conduisent à des résultats comparables *(figure 5)*. Les deux méthodes ont des avantages et des inconvénients. L'essai SIA no 5 tient compte des conditions effectives du point de vue physique, mais ne donne aucune information sur les défauts d'un élément de construction pouvant résulter de la mise en œuvre (par exemple vides locaux tels que fissures, pores de compactage ou nids de gravier).

Ouvrages étanches

Un béton étanche est indispensable pour assurer l'étanchéité des ouvrages, mais il ne suffit pas. Il faut par exemple, au moyen de mesures appropriées relatives aux calculs, à la construction et à la technologie du béton, veiller à une absence de fissures aussi totale que possible, ainsi qu'aux joints qui doivent également être étanches.

M. Badawy
et K. Hermann, TFB