Zeitschrift: Bulletin du ciment

Herausgeber: Service de Recherches et Conseils Techniques de l'Industrie Suisse du Ciment (TFB AG)

Band: 68 (2000)

Heft: 11

Artikel: Perméabilité au gaz des bétons

Autor: Hermann, Kurt

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-146526

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

Perméabilité au gaz des bétons

La perméabilité au gaz est une propriété importante des bétons durcis.

La perméabilité au gaz des bétons est en général supérieure à leur perméabilité à l'eau. Elle joue un rôle, par exemple lors du stockage de gaz dans des réservoirs en béton, de stockage final de substances radioactives ou de calottes étanches au gaz sur les bassins de putréfaction des stations d'épuration des eaux usées. Elle peut être utilisée pour évaluer la durabilité de bétons, surtout lorsqu'il s'agit de carbonatation et de corrosion [1], et l'on s'en sert pour le contrôle de la qualité d'ouvrages en béton.
La perméabilité au gaz des bétons est également un paramètre important dans le projet Swissmetro: un jour, des trains à grande vitesse se déplaçant à l'intérieur de tunnels sous vide partiel relieront des villes suisses (voir encadré «Un béton étanche au gaz pour Swissmetro» en page 7).

Le coefficient de perméabilité spécifique k

La perméabilité au gaz d'un mortier ou d'un béton est mesurée avec des gaz tels que l'oxygène ou l'azote, lesquels sont inertes face aux matériaux; l'air, qui contient du gaz carbonique, ne convient pas. La perméabilité au gaz peut être indiquée par le coefficient de perméabilité spécifique k (désigné par la suite par perméabilité au gaz). Ce coefficient dépend de plusieurs paramètres, dont il est traité en partie dans cet article. Le transport du gaz dans le béton fissuré sera l'objet d'un «Bulletin du ciment» ultérieur.
La perméabilité au gaz est une mesure pour la porosité ouverte d'un béton. La porosité ouverte correspond d'autre part pour l'essentiel à la porosité capillaire (voir [2]). Dans les bétons secs, la perméabilité au gaz est de 10^{-14} à 10^{-19} m^2.
Si l'on tient compte de la compressibilité du gaz s'écoulant, il résulte de la loi de *Hagen-Poiseuille* pour l'écoulement de fluides gazeux au travers de corps poreux à capillaires serrés [3]:

$$k = \eta \frac{2\,Q\,p_0\,l}{A\,(p^2 - p_a^2)} \quad [m^2] \qquad (1)$$

- k coefficient de perméabilité spécifique [m^2] (perméabilité au gaz)
- A section de l'éprouvette [m^2]
- Q débit de gaz [m^3/s]
- l épaisseur de l'éprouvette dans la direction de l'écoulement
- η viscosité dynamique du gaz d'essai [Ns/m^2] (oxygène à 20 °: $\eta = 2{,}02\ 10^{-5}\ N/m^2$)
- p pression à l'entrée, absolue [N/m^2]
- p_a pression à la sortie, absolue [N/m^2]
- p_0 pression à laquelle le débit est mesuré [Ns/m^2]; habituellement: $p_0 = p$

note: $10^5\ N/m^2 = 1$ bar

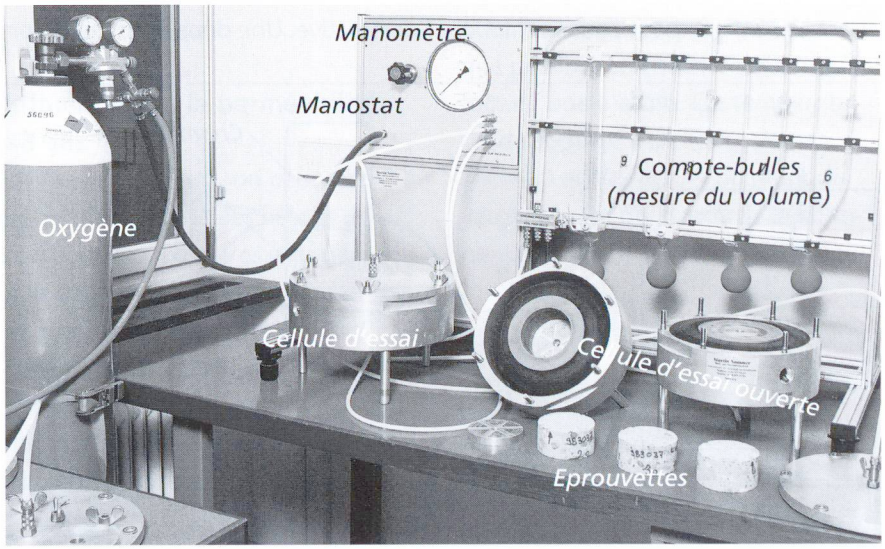

Fig. 1 Mesure de la perméabilité au gaz k selon la méthode Cembureau.
Photo: Herbert Odermatt, TFB

Mesure de la perméabilité sur des éprouvettes

La méthode Cembureau [4], utilisée en diverses variantes (voir p. ex. [2], [3], [5]), fait partie des méthodes standard pour déterminer la perméabilité au gaz d'un béton en laboratoire.

Dans des cellules d'essai qui permettent une étanchéité complète des surfaces de l'enveloppe, des disques cylindriques sont exposés d'un côté à un gaz inerte (généralement de l'oxygène) sous pression élevée (1,5 à 3,5 bars). Le volume du gaz s'écoulant est mesuré sur le côté opposé (voir *figure 1).* Pour les éprouvettes de mesure, on recommande un diamètre de 250 mm et une hauteur de 50 mm [5].

Mesure de la perméabilité in situ

Diverses méthodes sont décrites dans la littérature spécialisée, qui permettent de déterminer la perméabilité au gaz sur le chantier, au moyen d'une surpression dans un trou foré [6]. Un exemple est donné par *Reinhardt* et *Dinku* [7] (voir aussi *figure 2):* sous une pression de 11 bars, de l'azote est injecté pendant quelques secondes dans un trou foré de 45 mm de profondeur et 14 mm de diamètre.

On mesure ensuite la chute de pression en fonction du temps à intervalles de 0,5 bar (béton normal) ou 0,1 bar (béton très dense). En utilisant la loi de *Hagen-Poiseuille* ainsi que différentes hypothèses, la perméabilité au gaz peut également être déterminée à partir du temps de chute de pression et de la géométrie du trou foré [7].

Avant de mesurer la perméabilité, on détermine en outre l'humidité relative du béton dans le trou. Cela est nécessaire, car l'humidité du béton exerce une grande influence sur la perméabilité au gaz.

L'avantage de cette méthode par rapport à la méthode Cembureau est qu'elle est également applicable sur le chantier.

Torrent Permeability Tester

Avec la méthode Torrent [8, 9], la perméabilité d'un béton d'enrobage est déterminée de façon non destructive. Une dépression est pro-

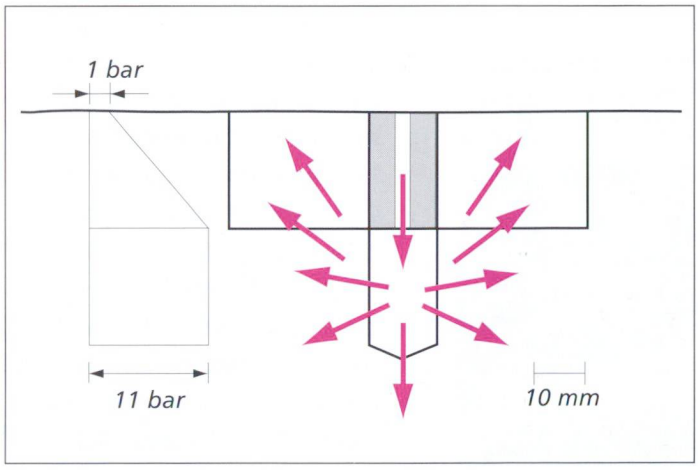

Fig. 2 Représentation schématique de l'écoulement de gaz et de la répartition de la pression dans un trou foré (selon [7]).

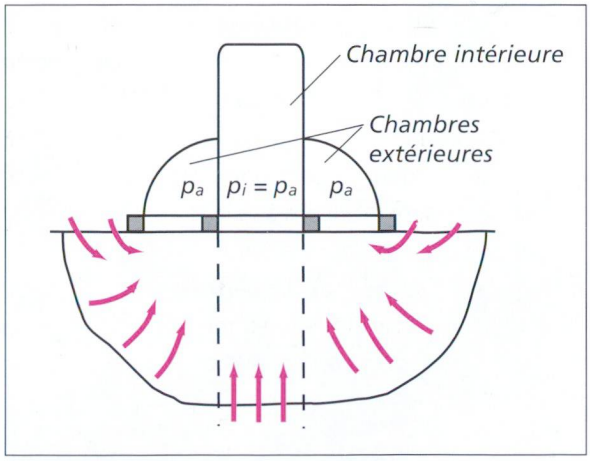

Fig. 3 Schéma de la cellule à vide à deux chambres dans l'appareil Torrent (selon [9]).

duite dans une cellule à vide à deux chambres, laquelle adhère hermétiquement à la surface du béton grâce à des anneaux de caoutchouc (voir *figure 3).* La construction spéciale de l'appareil permet que seul de l'air provenant de la zone directement au-dessous soit aspiré dans une direction dans la chambre intérieure. Lorsqu'un vide déterminé est atteint, on arrête la pompe à vide.

La perméabilité à l'air du béton peut être mesurée sous la cellule à partir de la vitesse de l'augmentation de pression dans la chambre intérieure. Les coefficients de perméabilité spécifiques k sont bien corrélés avec ceux obtenus avec la méthode Cembureau, et sont du même ordre de grandeur [8].

Influences sur la perméabilité au gaz

De façon simplifiée, on peut dire qu'à l'état humide, les bétons de composition ordinaires sont dans une large mesure étanches à l'air et au gaz lorsque leur rapport eau/ciment est de < 0,65 [10]. La perméabilité d'un béton augmente en même temps que son taux d'humidité diminue *(figure 4).*

Un (mauvais) béton poreux avec une saturation d'eau élevée peut témoigner d'une perméabilité au gaz inférieure à un béton à haute résistance sec, peu poreux. C'est pourquoi les échantillons doivent autant que possible être séchés avant d'effectuer une mesure. Les températures de séchage usuelles se situent entre 50 et 105 °C. Les opinions divergent en ce qui concerne la «bonne» méthode.

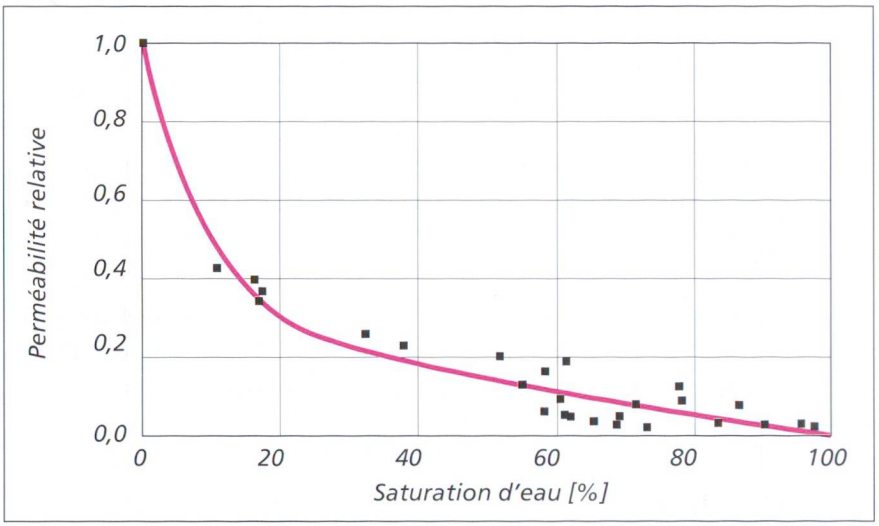

Fig. 4 Influence de la saturation d'eau sur la perméabilité au gaz relative d'un béton normal (e/c = 0,45) selon [6].

Il n'est pas toujours facile de mettre en évidence chacune des influences s'exerçant sur la perméabilité au gaz, car elles interfèrent entre elles.

Granulats

Avec un volume de granulat constant, la perméabilité est d'autant plus faible que la part de fines est élevée [11].

	Volume de la matrice [%]	Perméabilité au gaz [m²] avec rapport e/c 0,40	0,50	0,60	0,70
Pâte de ciment durcie	100	91 10^{-17}	220 10^{-17}	260 10^{-17}	340 10^{-17}
Mortier	46	2,2 10^{-17}	3,3 10^{-17}	31 10^{-17}	33 10^{-17}
Béton normal	32	1,9 10^{-17}	2,1 10^{-17}	6,4 10^{-17}	15 10^{-17}

Tab. 1 Influence du rapport e/c sur la perméabilité au gaz (éprouvettes conservées 29 jours dans l'eau, puis 63 jours à 20 °C/35 % hum. rel.) [6].

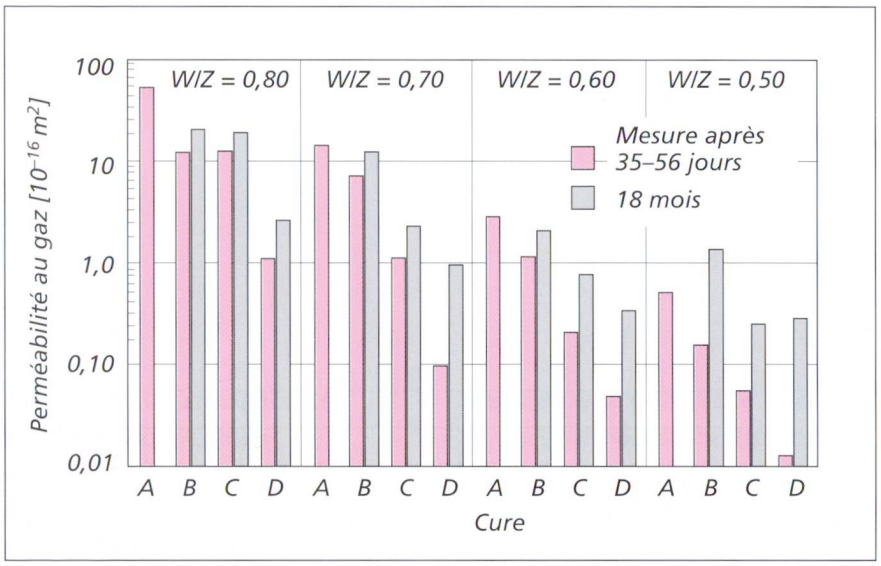

Fig. 5 ***Influence de la cure (voir tableau 2) sur la perméabilité au gaz, mesurée après 35-56 jours ou 18 mois, de bétons de laboratoire avec rapport e/c entre 0,50 et 0,80 (selon [12]).***

Mode	Exécution (température = 20 °C)	Conservation faisant suite (20 °C)
A	2 jours dans coffrage, le 1er jour avec face supérieure du béton couverte, le 2e jour non couverte et exposée aux courants d'air	Jusqu'il y a une année à 65 % hum. rel., ensuite à env. 55 % hum. rel.
B	1 jour dans coffrage avec face supérieure du béton couverte	
C	1 jour dans coffrage, puis conservé 2 jours avec feuille plastique étanche à l'air	
D	1 jour dans coffrage, puis conservé 27 jours avec feuille plastique étanche à l'air	

Tab. 2 Modes de cure des bétons dont il est question à la figure 5 (selon [12]).

Type de ciment
Le type de ciment peut influer sur la perméabilité au gaz des bétons [6, 11].

Rapport eau/ciment
Le volume des pores capillaires dépend du rapport e/c et augmente parallèlement à ce rapport. C'est pourquoi la perméabilité au gaz de bétons comparables est d'autant plus grande que leurs rapports e/c sont élevés *(tableau 1)*. Il ressort du même tableau que la perméabilité au gaz est d'autant plus grande que la part de pâte de ciment durcie dans le béton est élevée [6].

Traitement de cure
Une cure prolongée peut améliorer l'étanchéité au gaz d'un béton. La *figure 5* et le *tableau 2* [12] montrent l'influence de la durée de la cure et du rapport e/c sur la perméabilité au

BIBLIOGRAPHIE

[1] **Gräf, H.**, et **Bonzel, J.**, «Über den Einfluss der Porosität des erhärteten Betons auf seine Gebrauchseigenschaften», Beton 40 [7], 297–302 (1990).

[2] **Hermann, K.**, «L'humidité du béton», Bulletin du ciment **68** [10], 3–7 (2000).

[3] **Gräf, H.** und **Grube, H.**, «Verfahren zur Prüfung von Mörtel und Beton gegenüber Gasen und Wasser», Beton **36** [5], 184–187 und [6], 222–226 (1986).

[4] **Kollek, J. J.**, «The determination of the permeability of concrete to oxygen by the Cembureau method – a recommendation», Materials and Structures **22**, 225–230 (1989).

[5] **Bunke, H.**, «Prüfung von Beton – Empfehlungen und Hinweise als Ergänzung zu DIN 1048», Deutscher Ausschuss für Stahlbeton **422**, 32–33 (1991).

[6] **Jacobs, F. P.**, «Permeabilität und Porengefüge zementgebundener Werkstoffe», Building Materials Report **7** (1994).

[7] **Reinhardt, H.-W.**, et **Dinku, A.**, «Ermittlung der Gasdurchlässigkeit der Betonrandzone mit hohem Überdruck», Betonwerk + Fertigteil-Technik **62** [11], 86–93 (1996).

[8] **Wolter, H.**, «Bestimmung der Permeabilität von Betonen in Labor und an Bauwerken», schriftliche Unterlagen zur TFB-Fachveranstaltung 955 271 «Permeabilität von Betonen» vom 14.02.1996 in Wildegg.

[9] **Torrent, R. J.**, «A two-chamber vacuum cell for measuring the coefficient of permeability to air of the concrete cover on site», Materials and Structures **25**, 358–365 (1992).

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

[11] **Jacobs, F.**, «Einflüsse auf die Permeabilität von Beton», documentation écrite pour le séminaire TFB no 955 271 «Permeabilität von Betonen» du 14.02.1996 à Wildegg.

[12] **Jacobs, F.**, «Dauerhaftigkeitseigenschaften von Betonen», Beton **49** [5], 276–282 (1999).

[13] **Badawy, M.** et **Honegger, E.**, «Swissmetro – Tests on air permeability of concrete», CD du rapport du 16e congrès de l'IABSE à Lucerne (2000).

[14] **Badoux, M.**, et **Fellay, N.**, «Air permeability tests on cracked reinforced concrete wall elements», CD du rapport du 16e congrès de l'IABSE à Lucerne (2000).

[15] Swissmetro-Infocentre NTB, http://www.ntb.ch/Other/Swissmetro/Techn.html.

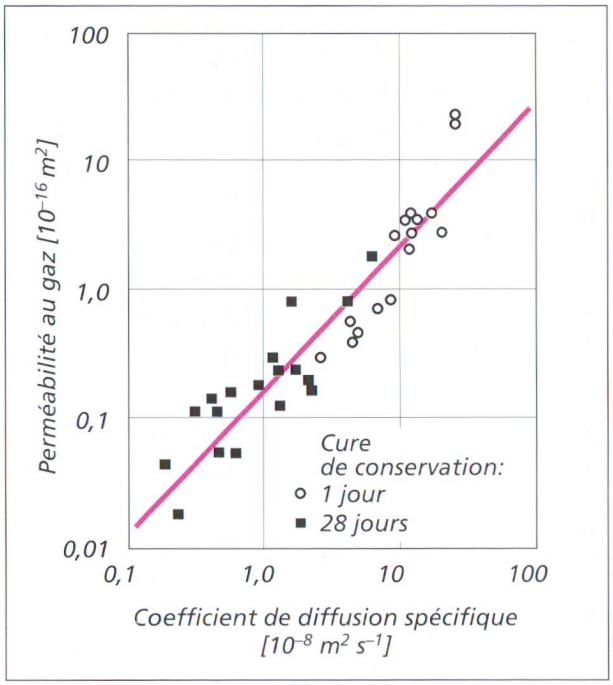

Fig. 6 Rapport entre coefficient de perméabilité spécifique et coefficient de diffusion spécifique pour des bétons [3].

gaz de «bétons normaux» (diamètre maximum des granulats 16 mm, ciment Portland CEM I, teneur en pâte de ciment 300 l/m^3) [12]. En dehors de la durée de la cure et du rapport e/c, la teneur en eau joue également un rôle important dans les bétons jeunes: plus la cure est longue, plus il y a d'eau dans les pores (diminution de la perméabilité au gaz).

Teneur en air

Les bétons qui contiennent de l'air entraîné, à raison de 3 à 5 % en volume, ne témoignent pas d'une perméabilité au gaz plus élevée que des bétons comparables sans air entraîné. Cela s'explique par le fait que lors de teneurs aussi faibles, les pores d'air ne sont pas reliés. La perméabilité au gaz n'augmente nettement qu'à partir de teneurs en air de > 11 % en volume [11].

Diffusion de gaz inertes

C'est principalement la perméabilité au gaz qui est déterminante pour la pénétration d'oxygène et de gaz carbonique dans les bétons. Un rapport linéaire existe entre le coefficient de perméabilité spécifique k et le coefficient de diffusion spécifique D d'un béton (dépend de la différence de pression partielle des gaz dans le béton et dans l'air ambiant (voir *figure 6*).

Les coefficients de diffusion d'oxygène des bétons usuels se situent entre 10^{-6} bis 10^{-9} m^2 s^{-1} [3].

Kurt Hermann, TFB

Béton étanche au gaz pour Swissmetro

Swissmetro est un système de train à grande vitesse qui – ses promoteurs l'espèrent – reliera un jour les principales villes suisses dans les axes est-ouest et nord-sud.
Quatre technologies complémentaires doivent constituer l'élément essentiel de Swissmetro:

- deux tunnels entièrement souterrains espacés de 25 m, ayant un diamètre de 5 m seulement
- vide partiel (100 mbars) dans les tunnels pour réduire l'énergie motrice
- propulsion par des moteurs électriques installés fixes dans les véhicules
- système magnétique de sustentation et de guidage, permettant des vitesses de 400 km/h

Le vide partiel nécessaire ne peut être obtenu qu'avec un revêtement intérieur des tunnels aussi étanche que possible. Sont en discussion:

- anneau de béton unique
- anneau de béton avec revêtement intérieur
- deux anneaux de béton avec étanchéité intermédiaire

C'est l'anneau de béton unique qui pose les plus hautes exigences en matière d'étanchéité au gaz. Mais la construction à deux anneaux exige elle aussi localement un béton de revêtement étanche au gaz, car sur une durée de 100 ans (durée de service exigée), des fuites de l'étanchéité mise en place ne peuvent pas être exclues.

Bien que la réalisation de Swissmetro ne soit pas encore d'actualité, des études préliminaires sont faites maintenant déjà, entre autres au TFB à Wildegg (tests de perméabilité au gaz des bétons [13] et à l'EPFL à Lausanne (perméabilité d'éléments de murs en béton fissurés [14]).

Sources: [13]–[15]