

**Zeitschrift:** Bulletin du ciment  
**Herausgeber:** Service de Recherches et Conseils Techniques de l'Industrie Suisse du Ciment (TFB AG)  
**Band:** 54-55 (1986-1987)  
**Heft:** 18

**Artikel:** Béton à air occlu  
**Autor:** B.M.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-146156>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 08.02.2025

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

# BULLETIN DU CIMENT

JUIN 1987

55e ANNEE

NUMERO 18

## Béton à air occlu

**Porosité du béton. Fabrication. Effets secondaires des pores artificiels. Applications.**

Le béton à air occlu contient des pores remplis d'air introduits artificiellement. Comme le montre une expérience de quelques décennies, il a une résistance au gel, notamment au gel en présence de sel, fortement accrue. Il faut donc l'utiliser partout où cette propriété est requise.

La porosité du béton durci se décompose de la façon suivante:

- Les pores de compactage sont les vides restant entre les grains; leur dimension est  $> 1$  mm. Dans un béton de bonne granulométrie et complètement compacté, leur teneur est voisine de 0%.
- Les pores des grains sont ceux des pierres mêmes du granulat. Ils jouent un rôle secondaire s'il s'agit de granulat normal résistant au gel.
- Les pores de la pâte de ciment sont les pores du gel et les capillaires. C'est dans cette catégorie que se trouvent les pores d'air introduits artificiellement. Les pores du gel se forment au moment de l'hydratation et ont une dimension de  $0,001-0,010 \mu\text{m}$ ; les pores capillaires sont dus à un excès d'eau de gâchage et ont une dimension de  $0,1-1,0 \mu\text{m}$ .

Le béton à air occlu ne doit pas être confondu avec le béton léger ou le béton cellulaire. Pour expliquer ses propriétés, il faut considérer les pores capillaires de la pâte de ciment. Ils se forment dans un béton de  $e/c > 0,4$ . Leur volume correspond à peu près à celui de l'eau non liée par le ciment (Exemple: Un béton CP 300 de  $e/c = 0,5$ , complètement saturé et dont le ciment est entièrement hydraté contient encore 30 l d'eau libre et  $60 \text{ l/m}^3$ , si le  $e/c = 0,6$ ). Les pores capillaires sont fins comme des cheveux, communiquent plus ou moins bien entre eux et forment un réseau à mailles serrées. Ils sont remplis partiellement d'eau ou d'air suivant le degré de dessèche-

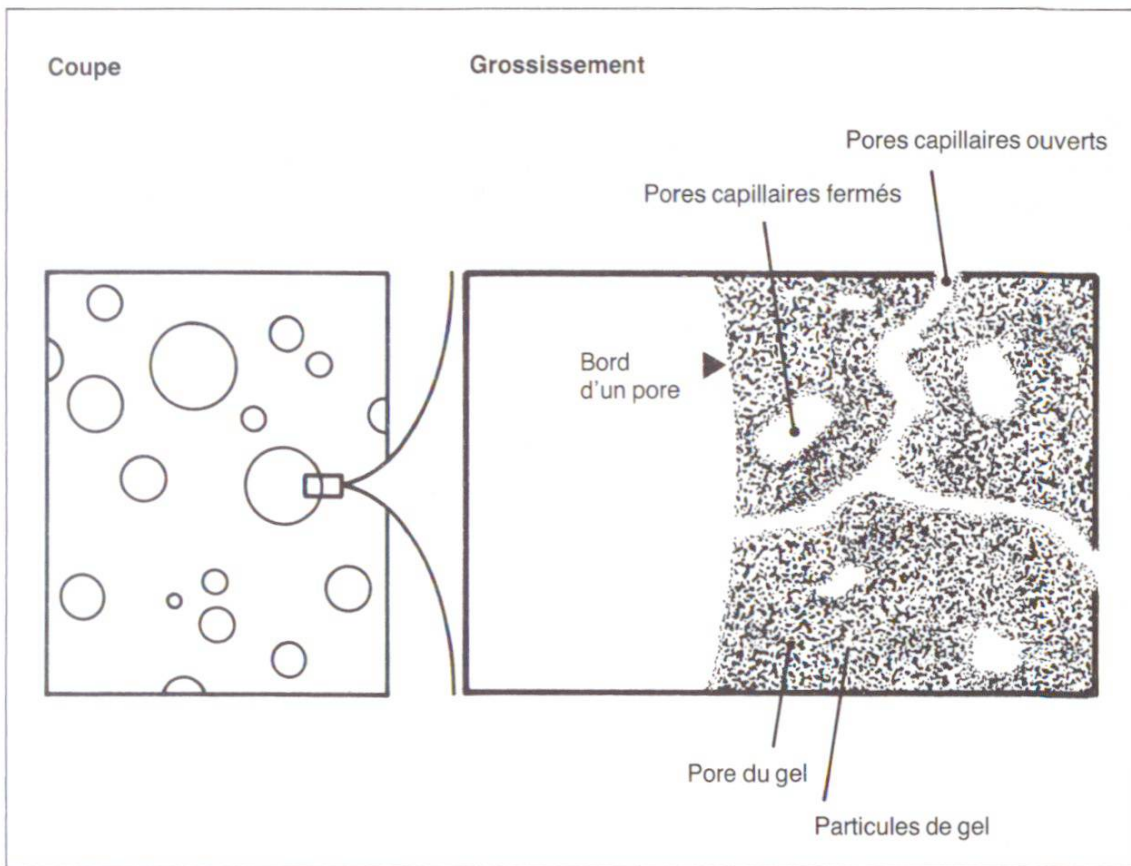


Fig. 1a Pâte de ciment avec pores d'air introduits artificiellement. Le grossissement à droite montre une fraction de pore dont le bord est formé par les particules du gel (représentation selon T. C. Powers).

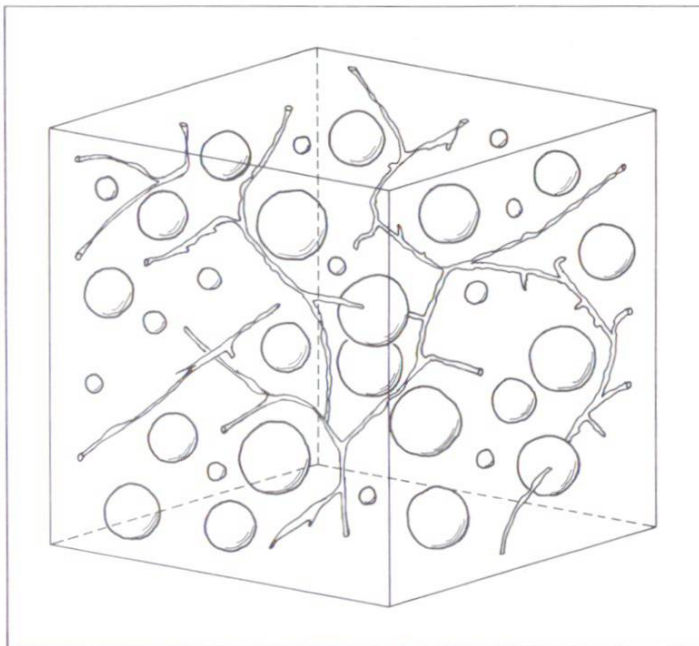


Fig. 1b Ensemble idéal de pores dans la pâte de ciment. Les pores sont sphériques et finement répartis. Ils interrompent le réseau des capillaires. Les pores du gel qui se trouvent entre les particules du gel ne sont pas dessinés.

ment du béton. Mais ils ne suffisent pas à absorber l'augmentation de volume de l'eau qui gèle ni la pression des cristaux de sel en formation. Il faut pour cela des pores d'air d'une certaine dimension, placés au bon moment dans certaines positions. C'est la raison pour laquelle on introduit des pores artificiels finement répartis dans la pâte de ciment. Ils sont sphériques, remplis d'air et sensiblement plus gros que les capillaires (20 à 300  $\mu\text{m}$ ). Ils doivent interrompre le réseau capillaire en y constituant les volumes d'expansion nécessaires (Fig. 1–3).

3

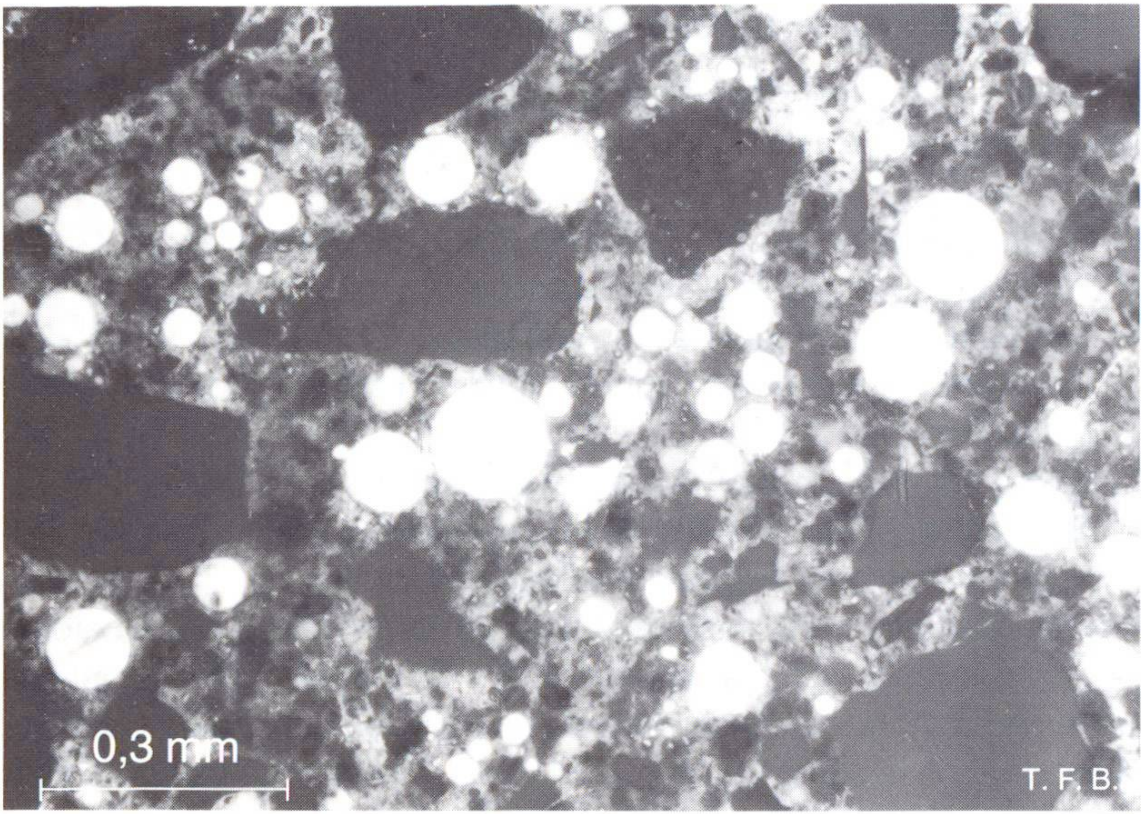
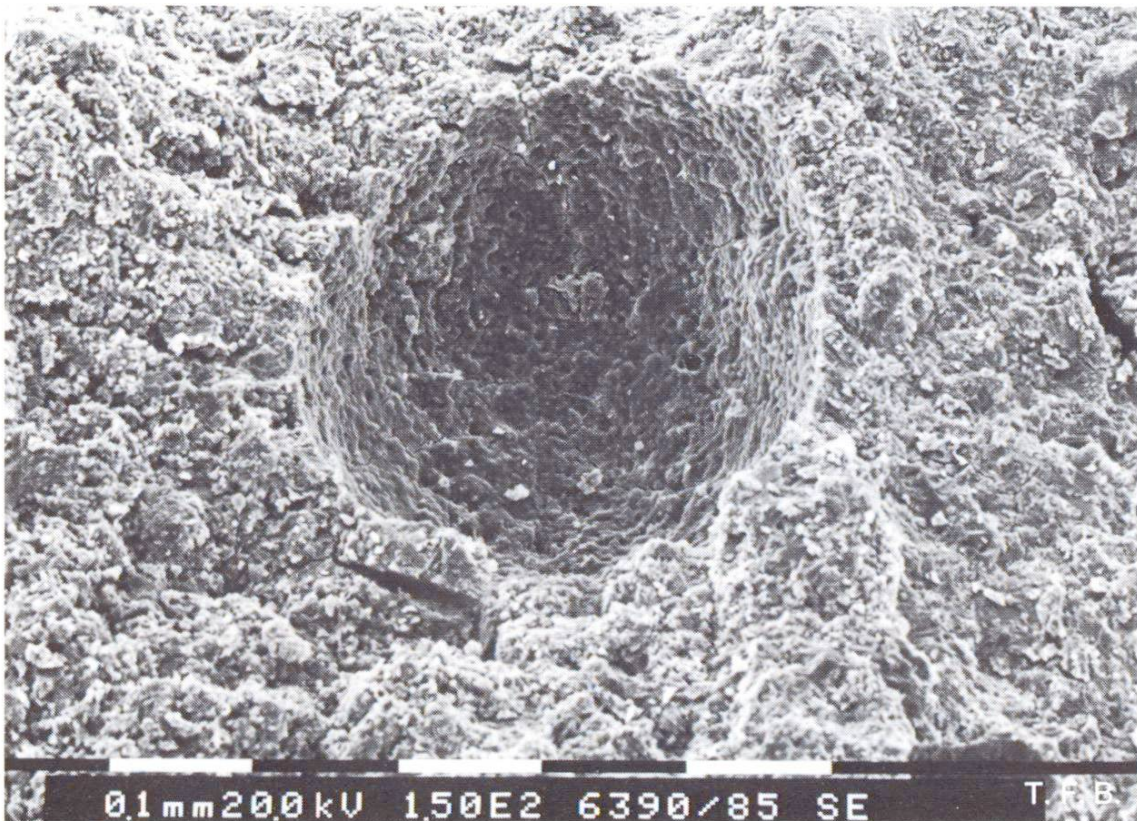


Fig. 2 Pores d'air répartis dans la pâte de ciment et entre les grains de sable (coupe mince vue au microscope).

Fig. 3 Pores d'air dans une pâte de ciment de  $e/c = 0,50$  (photo: Laboratoire de microscopie électronique de l'Université de Bâle).



- 4 Le béton à air occlu est caractérisé par les valeurs suivantes:
- Teneur en air La: Quantité totale d'air contenu dans le béton durci.
  - Facteur d'espacement AF: La plus grande distance entre un point de la pâte de ciment et le bord du pore le plus proche.
  - Teneur en micropores L 300: Teneur du béton durci en pores d'air  $< 300 \mu\text{m}$ .

Ces valeurs sont déterminées sur le béton durci et doivent l'être par un laboratoire spécialement équipé pour le faire.

- Teneur en air Ld: Quantité totale d'air contenue dans le béton frais, comprenant les pores de compactage et les pores artificiels, mais pas les pores remplis d'eau.

Cette dernière valeur est déterminée sur le béton frais au moyen d'un appareil mesurant la compressibilité du béton.

### **Fabrication du béton à air occlu**

La fabrication du béton à air occlu doit être organisée, faire l'objet d'une offre et être soigneusement contrôlée. Avant tout il faut que le béton soit de qualité BH ou BS. Il s'agit donc d'un béton ayant des propriétés particulières, à savoir un granulats résistant au gel, un dosage en ciment de  $300 \text{ kg/m}^3$  au minimum et un faible rapport e/c. Il doit en outre être l'objet d'essais préalables à moins que ceux-ci n'aient déjà été faits par le fournisseur de béton (avec certificat d'essai).

Les agents entraîneurs d'air sont des adjuvants ayant une action physique. Ils n'interviennent pas dans les réactions de durcissement. Ils sont dosés en % ou en ‰ du poids du ciment et ajoutés sous forme liquide au moment du gâchage. Il faut prendre garde au fait qu'ils sont vendus en différentes dilutions, ceci pour permettre d'affiner le dosage. Les entraîneurs d'air peuvent être utilisés en même temps que d'autres adjuvants. On trouve même sur le marché des adjuvants à actions combinées. Mais il est préférable de les ajouter séparément afin de pouvoir agir avec précision sur chacune des propriétés du béton.

L'efficacité de l'entraîneur d'air dépend des facteurs suivants: Finesse du ciment (CP ou CPH), dosage du ciment, granulats (forme des grains, granulométrie, teneur en fines), température du béton. C'est pour cette raison que des essais préalables bien conduits sont indispensables, à moins qu'on ne dispose de la preuve qu'ils ont déjà été faits. De tels essais permettent de savoir si l'adjuvant proposé convient dans le cas particulier, ils donnent des informations sur les résistances probables du béton et sur les effets de modifications des conditions en cours de travaux. Les relations entre les exigences, le grain maximum et la teneur en air nécessaire sont

## 5 Tableau 1 Teneur en air du béton frais (% vol.) en fonction des exigences et du grain maximum

Exigence	Pâte de ciment	Mortier 0/4 mm	Béton		
			0/16 mm	0/32 mm	0/50 mm
<i>Résistance au gel:</i> Teneur en air minimale	15%	8%	5%	<b>3%</b>	2½%
<i>Résistance au gel en présence de sel:</i> Teneur en air maximale	25%	13%	8%	<b>6%</b>	5%

150	<u>Béton pour murs et murs de soutènement</u> Fourniture, mise en place et serrage de béton BH, CP 300 kg/m <sup>3</sup> , armé, grain max. 32 mm, résistant au gel en présence de sel. Résistance exigée à 28 jours: 35 N/mm <sup>2</sup>		
151	Béton pour murs jusqu'à 25 cm	m3	....
154	Béton pour murs jusqu'à 50 cm	m3	....
350	<u>Adjuvants</u> Fourniture et addition d'adjuvants selon prescriptions du fabricant. Mesuré selon volume du béton		
353	Entraîneur d'air Béton résistant au gel en présence de sel: Teneur en air vérifiée du béton frais: min. 4%, max. 6% (mesuré à la mise en place) Dosage: .... o/oo du poids du ciment Marque: ..... Fournisseur: ..... kg ....		

Fig. 4 Exemple du texte d'un appel d'offre pour un béton résistant au gel en présence de sel. Les exigences de portée générale et les références aux normes se trouvent dans les conditions générales au début du contrat. Le dosage exact de l'adjuvant entraîneur d'air doit être déterminé par des essais préalables.

données au tableau 1. Ces informations sont à la base de l'appel d'offre (Fig. 4). Le plan de coffrage doit mentionner la sorte de béton à utiliser pour les différentes parties de l'ouvrage, avec les indications «résistant au gel» ou «résistant au gel en présence de sel». En cours de travaux, le surveillant doit contrôler en permanence la fabrication du béton à air occlu. Il doit vérifier la teneur en air du

6 béton frais (Fig. 5) en faisant éventuellement appel pour cela au fournisseur du béton ou à celui de l'adjuvant. Cette mesure ne donne des résultats valables, avec une tolérance de  $\frac{1}{2}\%$ , que si le béton placé dans le pot de mesure est suffisamment compacté, mais pas soumis à une vibration excessive. Les autres valeurs telles que compacité, rapport e/c et consistance peuvent être déterminées au cours de la même opération. Le nombre des mesures nécessaires dépend des variations des conditions ambiantes et de celles de la qualité des matériaux. Suivant les variations de la température par exemple, il faudra faire plusieurs mesures chaque jour. Si la recette du béton est bien respectée, la teneur en air efficace s'établira d'elle-même. Mais ceci ne pourra être vérifié que par des essais sur le béton durci. Or ceux-ci sont coûteux et leurs résultats ne sont disponibles que longtemps après le bétonnage, en sorte que les essais préalables et les contrôles du béton frais sont particulièrement importants.

Il est essentiel que le malaxage soit fait correctement, c.-à-d. que sa durée soit suffisante. L'adjuvant entraîneur d'air est introduit en même temps que l'eau (dispositif de dosage). Pour un béton résistant au gel, la durée minimale du malaxage avec l'eau est de 60 sec. et pour un béton résistant au gel en présence de sel, de 90 sec., sans quoi les minuscules pores d'air ne peuvent pas se former. Il faut savoir que la teneur en air peut être modifiée par le transport et qu'on peut tenir compte d'une perte de  $\frac{1}{2}\%$ .

Le béton à air occlu doit être mis en œuvre comme un béton de qualité. Le pompage est possible mais on évitera les longues conduites. Le béton doit être vibré jusqu'à ce qu'il n'en sorte plus d'air, mais pendant une minute au maximum. La surface ne doit pas être talochée trop énergiquement. Dans tous les cas, il faut interdire toute addition supplémentaire d'eau sur le chantier. Le traitement de cure et le stockage n'exigent pas de mesures particulières: Le maintien de l'humidité par une couverture pendant quatre jours suffit en général.

### **Effets secondaires des pores artificiels**

Béton frais: Les pores artificiels sont sphériques et agissent comme un lubrifiant dans le béton frais, améliorant ainsi sa maniabilité. On peut par conséquent réduire la teneur en eau et travailler avec un rapport e/c plus faible. Dans la granulométrie, les pores d'air sont à considérer comme des fines: S'il y a manque de particules fines, les pores d'air apportent une amélioration, car les petites bulles augmentent la quantité de film lubrifiant. En revanche, si la teneur en

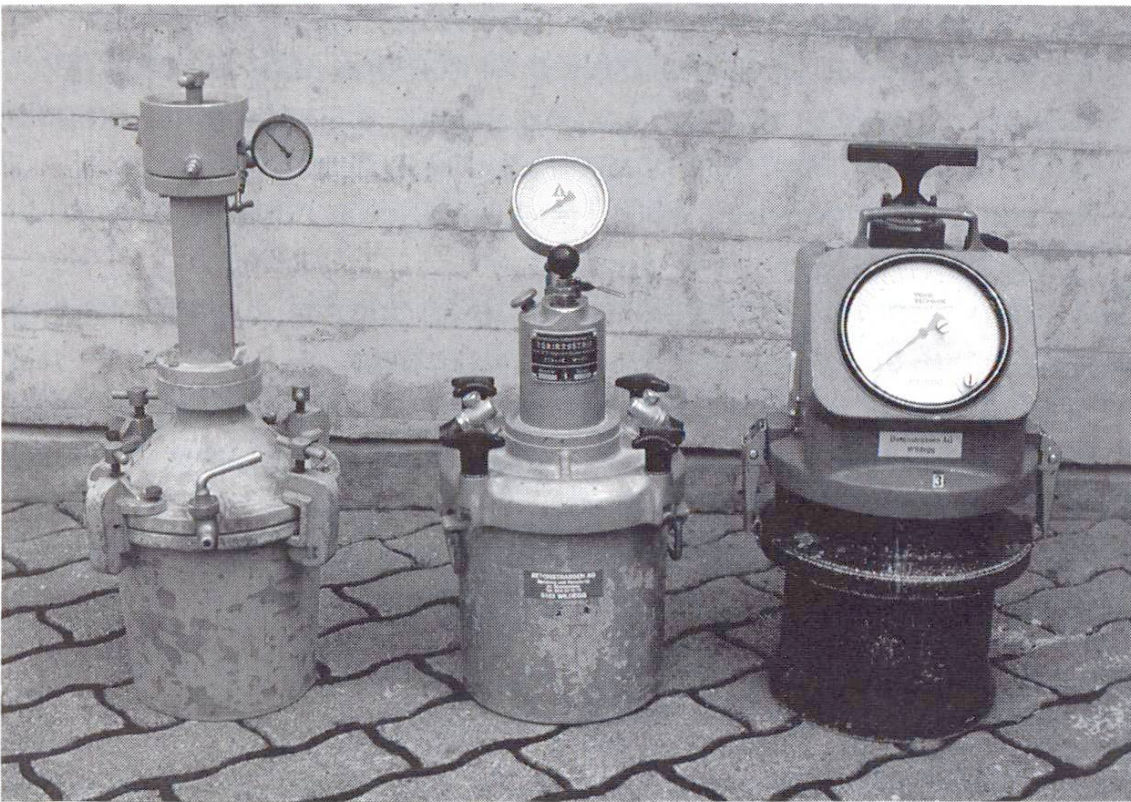


Fig. 5 Appareils pour la mesure de la teneur en air du béton frais.

finest est déjà élevée, il faut la réduire d'une quantité égale à celle de l'air occlu.

Les pores d'air empêchent la ségrégation de l'eau (ressuage). Mais alors, les surfaces libres demandent un soin particulier lors du bétonnage. Elles peuvent se dessécher prématurément (p. ex. en cas de foehn), car il n'y a plus de remontée d'eau pour maintenir leur humidité. Après décoffrage, les surfaces de béton apparent ont un meilleur aspect grâce à l'air occlu.

Béton durci: Les pores d'air diminuent la résistance proportionnellement à la quantité d'air occlu. Cette diminution peut être partiellement compensée en raison de la réduction possible du rapport e/c et de l'amélioration de la maniabilité. On peut donner comme règle empirique: La résistance diminue de 3% pour chaque % d'air occlu. Pour un béton à air occlu usuel, la perte de résistance sera d'env. 12–15% (compression) et de 10% (flexion), ces pertes étant rarement plus grandes en cas normal. En revanche, un surdosage en adjuvant peut entraîner une réduction importante des résistances. Le métrage et le payement se font en volume ( $m^3$ ) de béton en place, y compris les pores d'air. L'introduction d'air dans le béton en augmente le volume, ce qui doit être compensé par une réduction du sable, sans quoi le dosage en ciment prescrit ne serait pas respecté. Les informations à ce sujet sont fournies par le calcul du volume des composants et par l'essai de rendement lors des essais préalables.



## 8 Les applications du béton à air occlu

Le béton à air occlu doit être utilisé pour tous les éléments d'ouvrages exposés aux intempéries, notamment au gel en présence de sel:

- Ponts (parapets, poutres latérales, dalles de chaussée)
- Murs de soutènement et parois antibruit le long des routes
- Parois boute-roue (parois New-Jersey)
- Revêtements en béton (routes, pistes d'aviation, places, arrêts d'autobus)
- Béton préfabriqué pour routes et places (dalles, marches d'escalier, bordures, écoulements d'eau, caniveaux pour câbles, etc.)
- Bâtiments en béton apparent le long des routes

Les fournisseurs d'éléments en béton devraient fabriquer en béton à air occlu tous les articles pouvant entrer en contact avec les sels de déverglaçage, même sans demande spéciale des clients. Dans les bétons de consistance terre humide, les adjuvants entraîneurs d'air sont peu efficaces. En pareil cas, l'air occlu peut être introduit sous forme de microsphères creuses en plastique.

Des procédés spéciaux tels que béton fluidifié ou traitement sous vide peuvent être appliqués, mais dans ces cas également des essais préalables sont indispensables.

L'entraîneur d'air n'offre pas à lui seul la garantie que le béton sera résistant au gel en présence de sel. Il faut avant tout que ce béton ait une composition granulométrique idoine, qu'il soit mis en œuvre selon les règles de l'art et qu'il soit soumis à un traitement de cure convenable. Le béton à air occlu apporte une amélioration décisive, déjà simplement par le fait qu'il doit faire l'objet d'essais préalables et de contrôles suivis.

B. M.

### Bibliographie

*Bonzel, J.*: «Béton». Betonkalender, Berlin 1987

*Brown, B. V.*: «Air entrainment». Concrete 16 (1982) Nr. 12: part I. Concrete 17 (1983) Nr. 1: part II

*Dobrolubov, G.; Romer, B.*: «Directives pour l'estimation et la mesure de la résistance du béton de ciment au gel et dégel en présence de sel. Routes et trafic, n<sup>os</sup> 6 et 7, 1978

*Hess, R.*: «Künstliche Luftporen im Beton», Zürich 1961