

**Zeitschrift:** Ingénieurs et architectes suisses  
**Band:** 111 (1985)  
**Heft:** 12

## Sonstiges

### 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:** 15.02.2026

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

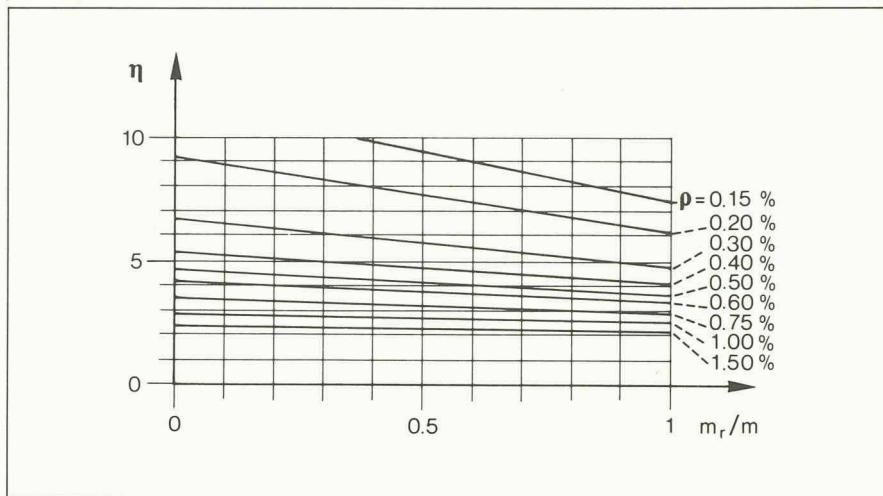


Fig. 12. — Coefficient de correction global.

surestimer la flèche, on peut admettre  $m_r/m = 0$ .

Quand  $m_r \leq m$  la flèche probable due à la fissuration et au fluage peut s'écrire :

$$a = \left( \frac{h}{d} \right)^3 \cdot \eta \cdot (1 - 20 \rho) \cdot a_c \quad (13)$$

Si l'on veut mieux cerner la flèche probable de la dalle, il faut ajouter à cette flèche celle due au retrait. Cette dernière peut, en cas de fissuration, être importante, c'est-à-dire du même ordre de grandeur que celle due au fluage.

La flèche due au retrait uniforme peut s'obtenir simplement à partir du diagramme de la figure 8.

## 7. Conclusion

Comme la flèche à long terme d'une dalle fissurée peut atteindre dix fois la valeur de la flèche de base  $a_c$ , il importe de four-

nir à l'ingénieur les moyens adéquats pour l'estimer.

La méthode des bandes croisées considérant la direction des moments principaux pour le choix des bandes du réseau ainsi que l'orientation moyenne ( $\gamma_m$ ) des armatures par rapport aux directions de ces moments principaux, permet de calculer la flèche probable de toute dalle en béton armé de façon cohérente et précise. Cette méthode tient compte de la fissuration et des effets différés (fluage et retrait) ainsi que d'une redistribution éventuelle. Dans les cas courants du bâtiment le procédé peut être simplifié comme indiqué dans le projet de norme SIA 162, tout en gardant à l'esprit que le retrait peut, le cas échéant, jouer un rôle non négligeable qu'on estime à l'aide du diagramme de la figure 8.

## Remerciements

Les auteurs tiennent à exprimer leur reconnaissance à la Société suisse des fabricants

## Bibliographie

- [1] MATOUSEK M., SCHNEIDER J.: *Untersuchungen zur Struktur des Sicherheitsproblems bei Bauwerken*. Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich, Bericht Nr. 59, 1976.
- [2] CEB: *Manuel Fissuration et Déformations*. Bulletin d'information n° 158, octobre 1983.
- [3] TELLENBACH A.: *Déformation à long terme des dalles en béton à l'état fissuré*. Thèse de doctorat n° 544, EPF Lausanne, 1985.
- [4] FAVRE R., KOPRNA M., PUTALLAZ J.-C.: *Deformation of Concrete Structures, Theoretical Basis for the Calculation*. IABSE Periodica, S-16, 1981.
- [5] FAVRE R.: *Verformungsberechnung von Tragwerken aus Stahl- und Spannbeton*. Schweizer Ingenieur und Architekt, Heft 43, 1981. Version française : *Evolution des déformations et calcul pratique des flèches*. Documentation SIA 51, 1981.
- [6] JACCOUD J.-P., FAVRE R.: *Flèches des structures en béton armé — vérification expérimentale d'une méthode de calcul*. Annales de l'ITBTP, série Béton n° 208, 1982.
- [7] SIA, Société des ingénieurs et architectes suisses: *Norme SIA 162 pour le béton, béton armé et précontraint* Zurich, projet soumis en consultation, 1984.

de ciment, chaux et gypse, qui, par son soutien financier, a contribué à la réalisation de l'étude expérimentale.

## Adresse des auteurs

André Tellenbach  
D'ès sc. techn.  
Renaud Favre  
Professeur EPFL  
Institut de statique et structures  
béton armé et précontraint — IBAP  
EPFL  
GCB — Ecublens  
1015 Lausanne

## Industrie et technique

### Etat actuel du lac de Zoug

#### 1. Morphologie

Le lac de Zoug, situé à une altitude de 414 m, a une surface d'environ 38 km<sup>2</sup>. Un resserrement, les «Chiemen», sépare le lac en deux parties : le lac inférieur et le lac supérieur (bassin de Walchwil). Dans la partie inférieure du lac, le fond descend en pente douce en partant de Zoug, pour atteindre une profondeur de 120 m à la hauteur du resserrement, alors que dans le bassin de Walchwil, en forme d'entonnoir, la plus grande profondeur mesurée est de 198 m. Bien que le resserrement freine le mélange des eaux des deux parties du lac, la période d'échange n'excède guère 30 jours, étant donné les seiches internes et la grande profondeur au niveau des «Chiemen» (175 m).

Le lac de Zoug, avec un temps de séjour moyen de 14 ans en théorie, compte

parmi les lacs à renouvellement lent (lac de Sempach 17 ans, lac Léman 12 ans). L'affluent principal est la Lorze; elle fournit 38% des eaux du lac. La Rigiaa est le principal affluent du bassin de Walchwil.

#### 2. Chimie du lac de Zoug

En 1981, H. Züllig a prélevé un certain nombre de carottes dans les sédiments du fond des lacs suisses. L'analyse de la teneur en pigments produits végétaux a permis de reconstituer l'évolution de la végétation lacustre au cours des années. Dans le lac de Zoug, les perturbations dues à l'activité humaine remontent au début du siècle. On trouve en 1915 déjà des zones momentanément privées d'oxygène. En 1950, la concentration en oxygène au fond du lac, soit à plus de 150 mètres de profondeur, est restée toute l'année inférieure à 1 mg/litre. On se rappellera que la teneur normale de l'eau aérée est de 10 mg/litre. Et si, dans la plupart des lacs suisses, la concentration en O<sub>2</sub> tombe en été à moins de 5 mg/litre ; en

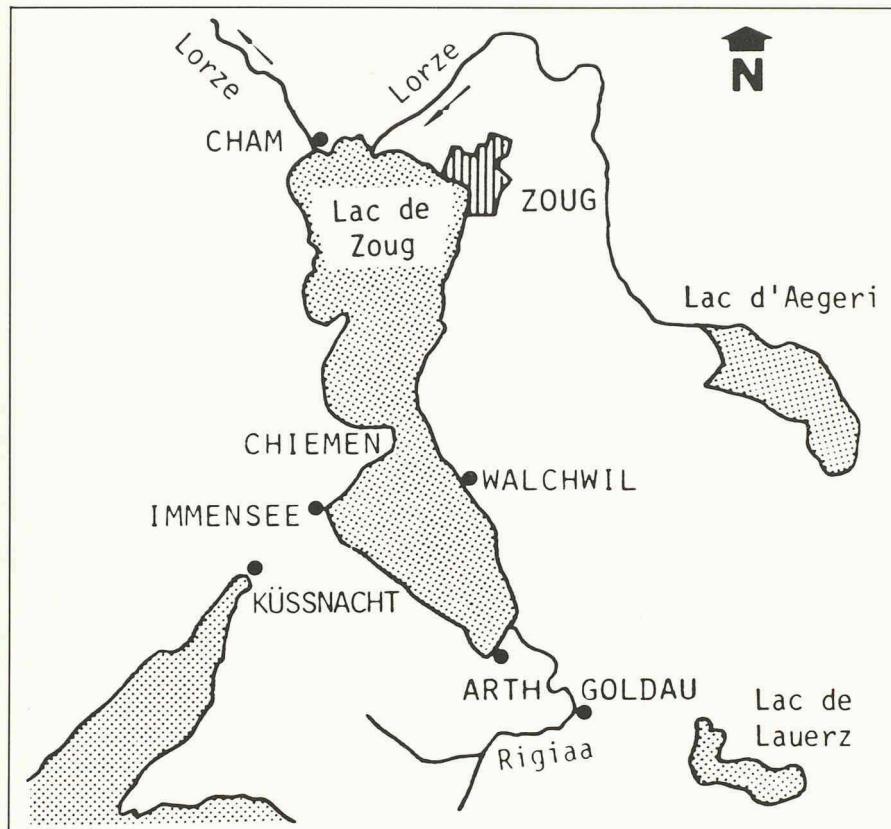
hiver, elle remonte toujours à sa valeur nominale de 10 mg/litre, à la faveur du grand brassage thermique qui se produit quand la température de l'eau tombe à 4°C.

Vers 1950, la teneur en oxygène au fond du lac tombe et reste inférieure à 2 mg/l, puis à 1 mg/litre en 1970. Et depuis 1980, elle est rigoureusement nulle pendant 10 mois de l'année. Le fond du lac de Zoug est donc mort.

Quelles en sont les causes et les conséquences ?

L'une des causes est liée à la géographie : le lac de Zoug est l'un des rares lacs suisses où la principale rivière qui l'alimente, la Lorze, entre dans le lac très près de l'endroit où elle la quitte, à l'extrémité nord du lac. Le bassin sud, qui est le plus profond, est celui qui reçoit le moins d'eau. Il est le moins lavé, car il n'est alimenté que par la petite rivière Rigiaa. De plus, il est séparé du bassin nord par un étranglement appelé Chiemen.

Or, dans ce bassin, on constate que la densité de l'eau croît avec la profondeur.



Cet effet est attribué à la suite de phénomènes en cascade. De grandes concentrations en phosphore favorisent la croissance des algues. A leur mort, ces organismes migrent vers le fond, et se dégradent en consommant  $O_2$  et en libérant  $CO_2$ . Ce  $CO_2$  dissout le calcaire sédimenté. Et comme il n'est pas entraîné par un apport d'eau fraîche, la concentration en calcium croît, et la densité de l'eau aussi.

L'apparition d'un gradient de densité crée une stratification qui empêche le mélange des eaux du lac. Le brassage automnal et printanier ne se produit que dans les 100 premiers mètres. Les couches plus profondes sont isolées des couches supérieures et ne se réoxygénent plus.

En général, la dégradation de la biomasse du fond des lacs se fait par oxydation à l'aide de l'oxygène dissous, toujours très abondant. Mais dans le lac de Zug, cela

ne peut pas être le cas, vu l'absence d'oxygène  $O_2$ . L'oxydation de la boue du fond peut néanmoins se produire, mais aux dépens d'autres oxydants.

L'un des plus abondants est le fer. En effet on en rajoute de grandes quantités sous forme de chlorure ferrique pour éliminer les phosphates des eaux usées. Ce chlorure ferrique transforme les phosphates solubles en phosphate ferrique insoluble, qui se mêle aux sédiments des lacs. Cela élimine les phosphates du circuit naturel : le but recherché par les stations d'épuration est atteint.

La boue du fond de nos lacs s'enrichit lentement en phosphate de fer, ce qui ne présente pas d'inconvénient particulier quand l'eau du lac est assez oxygénée. Mais dans le lac de Zug, ce phosphate joue le rôle de l'oxygène  $O_2$  absent. Il oxyde la biomasse du fond. Mais dans l'opération, il se transforme en phosphate ferreux, beaucoup plus soluble que

#### Références

- ZÜLLIG H. Untersuchungen über die Strategie von Carotinoïden im geschichteten Sediment von zehn Schweizerseen zur Erkundung früherer Phytoplanktonentwicklungen, Revue suisse d'hydrologie 44, 1, 1982.
- IMBODEN D. et al., Gutachten über die Sanierung des Zugersees EAWAG-Auftrag n° 4663, (1984).
- FAHRNI H. P., LIECHTI P. Etat actuel du lac de Zug, Bulletin de l'Office suisse de la protection de l'environnement, 5/84, p. 4 (1984).

le phosphate ferrique. Le résultat est donc que le phosphore repasse en solution, ce qui est exactement l'effet inverse que ce que les stations d'épuration s'acharnent à obtenir.

Plus on élimine les phosphates en ajoutant du chlorure de fer  $FeCl_3$  aux eaux usées, plus on donne d'«aliment» pour oxyder la boue du fond du lac, et plus on permet aux phosphates de se redissoudre au contact des sédiments qu'ils ont contribué à créer et plus on tend à perpétuer la pollution au fond du lac.

La seule façon de remédier à cet état de choses est de briser le cercle vicieux ainsi créé en réoxygénant le fond du lac. Consulté à ce sujet, en 1984, l'EAWAG préconise les mesures suivantes :

- a) percer une galerie de 3,5 km entre le lac inférieur et la Reuss, afin de siphonner les eaux profondes, pauvres en oxygène, vers la Reuss;
- b) alimenter le lac de Zug en eau fraîche en provenance du lac des Quatre-Cantons, situé 20 m plus haut que lui, en construisant un canal de dérivation de 2,2 km de long, entre Kussnacht et Immensee.

Le brassage des eaux qui résulterait de l'application de ces deux mesures ramènerait la concentration en phosphore à 20% de sa valeur actuelle d'ici 1995, et surtout il éviterait la redissolution du phosphore, que les stations d'épuration du rivage s'acharnent à extraire des eaux usées. Car, à l'heure actuelle, la déphosphoration des eaux usées dans le lac de Zug est un peu du travail de singe.

M. Cosandey,  
ing. chim. dipl. EPFL

## Actualité

### Une brochure de la Confédération sur la forêt

Le Département fédéral de l'intérieur vient d'édition une brochure intitulée *Dépérissage des forêts et pollution de l'air*. Elle résume le rapport de ce même département, paru en septembre 1984, et répondant à un mandat parlementaire.

La plaquette, en couleurs et richement illustrée, se lit facilement, elle s'adresse à tout public, mais surtout aux écoliers. Présentée sous une forme expressive, écrite dans un style sobre et précis, elle veut dissiper toute

idée erronée sur le fléau qui frappe notre forêt. Des processus aussi compliqués que le transport des gaz de combustion et leur transformation en polluants secondaires qui sont des substances hautement toxiques, sont expliqués et illustrés de manière à familiariser le lecteur avec la question.

A la lecture de cette plaquette, on prend conscience du fait que notre forêt est en train de mourir, même si ce phénomène n'est pas encore perceptible à certains profanes ; que toutes les espèces sont atteintes, ce qui n'était pas le cas lors d'autres déperissements passés ; que la pollution de l'air est la cause première du mal ; que la Suisse porte la responsabilité

pour la majeure partie de sa pollution atmosphérique ; que toutes les sources de pollution doivent être réduites. Cette publication met en évidence le caractère protecteur de la forêt dans les régions de montagne, leur valeur comme zones récréatives et l'importance du bois dans notre économie.

La brochure *Dépérissage des forêts et pollution de l'air* a été éditée dans nos quatre langues nationales. Elle est remise gratuitement par l'Office central du matériel et des imprimés (EDMZ), 3000 Berne. On voudra bien inscrire l'adresse du destinataire directement sur une étiquette collante qui sera jointe à la commande écrite.

