

**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande  
**Band:** 55 (1929)  
**Heft:** 15

**Artikel:** L'action corrosive des eaux tourbeuses sur les bétons  
**Autor:** Halcrow, W.T. / Brook, G.B. / Preston, R.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-42670>

### **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:** 25.04.2026

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

# BULLETIN TECHNIQUE

Réd. : D<sup>r</sup> H. DEMIERRE, ing.

DE LA SUISSE ROMANDE

Paraissant tous les 15 jours

ORGANE DE PUBLICATION DE LA COMMISSION CENTRALE POUR LA NAVIGATION DU RHIN  
 ORGANE DE L'ASSOCIATION SUISSE D'HYGIÈNE ET DE TECHNIQUE URBAINES  
 ORGANE EN LANGUE FRANÇAISE DE LA SOCIÉTÉ SUISSE DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES

SOMMAIRE : *L'action corrosive des eaux tourbeuses sur les bétons*, par MM. W. T. HALCROW, G. B. BROOK et R. PRESTON. — *Le grand téléfèrage des chantiers des Forces motrices de l'Oberhasli*. — *Concours d'idées pour la construction d'une Grande Salle, à La Tour de Peilz* (suite). — *Cours théorique et pratique sur le béton armé organisé par la Société suisse des ingénieurs et des architectes, à Lausanne, en octobre 1929*. — NÉCROLOGIE : Jules Pérusset. — SOCIÉTÉS : Association Suisse des Electriciens (A. S. E.) et Union de Centrales Suisses d'Electricité (U. C. S.) — Société suisse des ingénieurs et des architectes. — BIBLIOGRAPHIE.

## L'action corrosive des eaux tourbeuses sur les bétons

par MM. W. T. HALCROW, G. B. BROOK et R. PRESTON<sup>1</sup>

L'action de l'eau pure ou salée sur les surfaces en béton a fait l'objet de recherches et d'expériences de la part des ingénieurs, depuis plusieurs années et d'une façon croissante, car le béton est de plus en plus employé dans la construction.

L'objet de cette note n'est pas de traiter ce sujet en général, mais de décrire un exemple de détériorations de surfaces en béton, dues au contact d'eaux tourbeuses, leur effet sur le projet et la construction d'installations hydro-électriques, et aussi de donner quelques particularités d'une série d'essais effectués pour choisir les meilleurs matériaux résistant à une telle action.

Les Usines Kinlochleven de la « British Aluminium Co Ltd. » ont été construites en 1905-1909, le principal ouvrage en béton étant un barrage de 946 m de long sur 27 m de hauteur maximum, situé à 304 m au-dessus du niveau de la mer, dans la Blackwater Valley, à l'ouest des marais de Rannoch. Le réservoir formé a 12 km de longueur et une moyenne de 800 m de largeur. La région considérée est presque entièrement de formation granitique recouverte d'une tourbe d'épaisseur variable.

A partir du barrage, l'eau passe dans une galerie en béton armé de 2,40 m de large sur 2,40 m de haut et de 5,6 km de long, jusqu'à l'embouchure de la conduite en acier qui l'amène à l'usine. (Fig. 1.)

Au bout d'un certain temps toutes les surfaces en béton exposées à l'eau, qu'elle soit calme ou courante, ont été affectées ; les surfaces lisses formées par le pilonnage du béton contre des coffrages rabotés et huilés sont devenues rugueuses. Le ciment a disparu de ces surfaces, laissant à nu les grains de sable et les petits cailloux. Les grains de sable pouvaient être enlevés par frottement à la main. La profondeur jusqu'à laquelle l'action s'est produite est petite et probablement ne dépasse pas 3 mm, par consé-

quent la stabilité de la construction n'est pas compromise. Dans le cas de conduites, cependant, la détérioration de la surface a augmenté le coefficient de friction, et par suite réduit le débit avec, comme conséquence, une diminution de la puissance de l'usine.

Les analyses de l'eau et les essais effectués dans différents laboratoires, rapportés plus loin, ont montré que les acides contenus dans l'eau tourbeuse des marais dissolvent la chaux et l'aluminate de chaux du ciment et enlèvent quelquefois rapidement la surface du béton, l'action devenant plus lente lorsque la surface exposée du ciment est diminuée par la présence de grains de sable.

Dans le but de déterminer le meilleur ciment ou les autres matériaux à employer pour refaire l'enduit de la conduite lorsque la nécessité s'en fera sentir et aussi en prévision des nouvelles usines de Lochaber, des expériences furent commencées, en 1921, sur la résistance de différents ciments et de revêtements protecteurs à cette action corrosive, et 113 matériaux environ ont été essayés. Ils consistent en différents mélanges, pour bétons, de ciment portland, ciment de laitier et ciment alumineux, et en goudrons, bitumes, briques, traitements chimiques de la surface et autres.

Une petite conduite de 1,20 m de large et de 1,20 m de profondeur, construite pour transporter l'eau recueillie sur un petit versant dans la conduite principale, fut choisie pour ces essais.

Les premiers essais consistèrent à exposer les revêtements internes à l'eau, et comme le nombre de matériaux à essayer augmentait, des blocs séparés de béton furent préparés et disposés dans la conduite en contact avec l'eau. Ces revêtements et ces blocs furent formés des différents bétons à essayer, ou consistaient en bétons de ciment portland au dosage normal 4 : 2 : 1 sur lesquels les revêtements étaient essayés.

Les revêtements internes avaient 10 cm d'épaisseur et étaient divisés en sections de 1,80 m de long, chaque côté ayant un matériau différent. Les blocs avaient 60 × 60 cm et 10 cm d'épaisseur.

La majorité des essais a montré une détérioration nette au bout de 1 an, et seulement quelques revêtements n'ont pas été affectés au bout d'une période de plusieurs années ;

<sup>1</sup> Traduction par MM. E. Rengade et E. Allignol, d'une note présentée au Meeting d'hiver de l'Institution of Water Engineers, à Londres, le 7 décembre 1928.



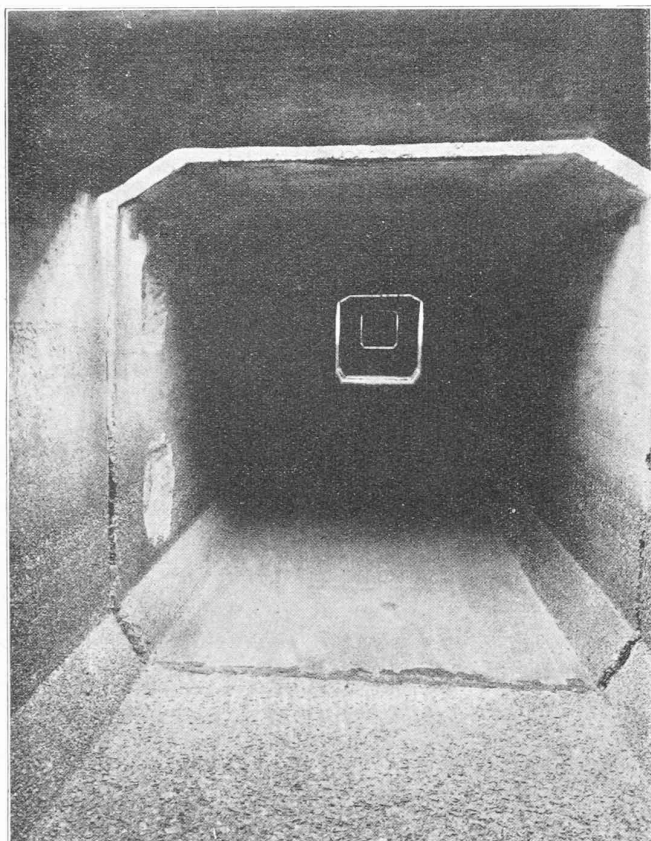


Fig. 2. — Vue montrant la rugosité des parois de la conduite et les endroits où les échantillons ont été prélevés pour l'analyse.

Pour un exposé complet de la signification du symbole  $p_H$ , consulter un ouvrage de chimie-physique. En deux mots, le  $p_H$  est un nombre employé pour exprimer l'acidité ou l'alcalinité « actives » d'un liquide. Les chiffres utilisés vont de  $p_H = 1$  qui est fortement acide, jusqu'à  $p_H = 13$  qui est fortement alcalin, en passant par  $p_H = 7$  qui est neutre. Dans le présent mémoire les valeurs vont de  $p_H = 4$  à  $p_H = 8$ . Les nombres exprimant des logarithmes<sup>1</sup>, chaque unité dont décroît le  $p_H$  correspond à un *accroissement* de dix unités de la valeur de l'acidité. C'est-à-dire que  $p_H = 5$  représente une acidité 10 fois plus grande que  $p_H = 6$ .

Pour mesurer le  $p_H$  dans ces essais on se servait d'une méthode colorimétrique. Une portion de l'eau dont le  $p_H$  est recherché est mélangée dans un tube de verre avec une petite quantité d'indicateur. La couleur résultante est comparée avec celles d'une série de tubes de verre correspondant à différentes valeurs connues de  $p_H$ .

Cette méthode est la seule pratique pour déterminer des teneurs en acide aussi faibles dans de si petites proportions que celles des eaux de réservoirs, lacs et ruisseaux.

Quelques valeurs extraites d'un grand nombre de déterminations faites sur les eaux de Loch Treig et Blackwater sont données dans le tableau 2.

<sup>1</sup> En effet l'exposant d'hydrogène ou indice de Sørensen, symbolisé par la notation  $p_H$ , n'est autre que le logarithme du nombre d'ions-grammes d'hydrogène contenus dans un litre de la solution envisagée, et c'est ce  $p_H$  qui mesure la *force* de l'acidité de cette solution. — *Réd.*

TABLEAU II — Acidité de l'eau.

Réaction	$p_H$	Nombre arbitraire	EXEMPLE
Alcaline	7.2	— 10	Petit courant alimentant Loch Treig.
Neutre	7.0	± 0	» » » »
Acide	6.6	+ 16	Acidité moyenne de Loch Treig.
»	6.4	+ 25	» » du Réservoir de Blackwater.
»	6.0	+ 63	Acidité maximum trouvée sur le versant Treig.
»	5.4	+ 250	Acidité maximum des courants du versant Blackwater.
»	4.4	+ 2500	Acidité maximum de n'importe quel mélange de Blackwater.
»	4.0	+ 6200	Plus forte acidité trouvée.

TABLEAU II bis

Variation de l'acidité en fonction des chutes de pluie et de la saison.

	Déc.	Avr.	Mai	Août	Juil.	Nov.	Juin	Fév.	Mars	Janv
Chutes de pluie en mm pendant les 3 premiers jours	0	0	0	3.2	6.2	13.7	24.75	26.0	40.0	55 mm
N° 0	20	13	13	20	40	25	40	63	63	63
N° 1	16	20	20	16	25	25	40	63	63	63
N° 2	16	16	16	16	25	22	40	63	63	63
N° 3	F	631	200	126	631	631	631	2000	631	631
N° 4	F	631	631	631	631	200	631	6300	631	631
N° 5	F	sec	sec	661	631	200	6300	2000	631	631
N° 6	F	200	sec	2000	6200	631	6300	6300	6300	6300

F = gel

En résumé : Par temps sec, froid ou chaud, l'acidité est moindre, tandis qu'elle tend à croître quand l'humidité de l'air augmente.

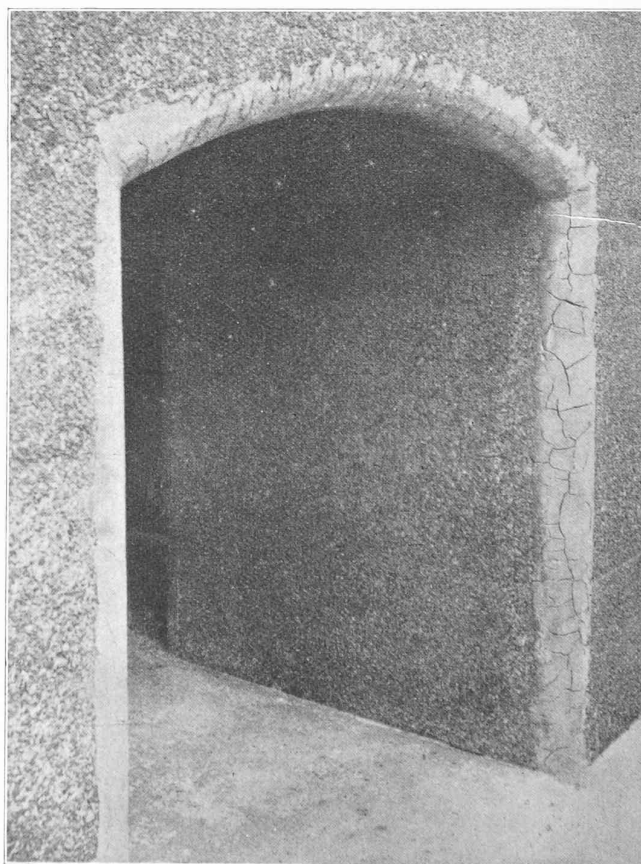


Fig. 3. — Encadrement, en ciment, fissuré par la corrosion, d'une porte dans une chambre de la conduite, et rugosité des parois.

Pour ceux qui ne sont pas familiarisés avec la notation en  $p_H$ , les teneurs en acides sont aussi évaluées dans ce tableau par des nombres arbitraires exprimant les acidités comparatives.

On se fera une idée de la proportion d'acide contenue dans l'eau de ces réservoirs en considérant que  $p_H = 6,6$  et  $6,4$  représentent l'équivalent de 0,015 et 0,024 partie d'acide acétique pour 1 000 000 de parties d'eau, respectivement. Des valeurs analogues ont été obtenues sur les eaux de Foyers et de Inverness-shire. Les acides provenant de la décomposition de la tourbe n'ont pas été identifiés ; ils sont considérés comme composés d'acides humique, acétique, formique, glycollique et oxalique, l'acide humique étant prépondérant. (Voir Robertson, Troine et Dobson, «Biochem. Journ.», t. 2, p. 458.)

*Action de l'eau à différentes acidités sur les ciments.*

Il est connu que l'eau a une action dissolvante sur le ciment. La façon dont la dissolution est accrue en présence d'acides est montrée par les recherches suivantes effectuées sur du ciment portland et sur du ciment alumineux, traités par l'eau et les acides dilués.

Des morceaux d'éprouvettes de ciment portland et de ciment alumineux ayant fait prise ont été triturés de façon à passer à travers un tamis de 90 mailles, et les poudres, après avoir été agitées avec 500 cm<sup>3</sup> d'eau distillée, ont été laissées en repos pendant 24 heures. Le liquide surnageant a été décanté à différents intervalles, et la quantité de matières solides dans le liquide a été déterminée. Les résultats des lixiviations répétées sont donnés dans le tableau 3.

TABLEAU III

*Dissolution du ciment portland et du ciment alumineux dans l'eau.*

	Ciment portland % dissous	Ciment alumineux % dissous
1 <sup>re</sup> lixiviation . . . . .	6,2	3,4
2 <sup>e</sup> » . . . . .	4,0	2,8
3 <sup>e</sup> » . . . . .	3,0	2,2
4 <sup>e</sup> » . . . . .	1,6	1,7
5 <sup>e</sup> » . . . . .	1,2	0,8
Total	16,0	10,9

Avec des ciments réduits en poudre grossière, la quantité dissoute au bout de 2 jours de contact avec l'eau était seulement de 1,7 % avec le ciment portland et 1 % avec le ciment alumineux. Lorsque de petits morceaux de ciment portland ont été immergés dans l'acide acétique dilué pendant 24 heures, un accroissement de la dissolution a été observé (tableau 4).

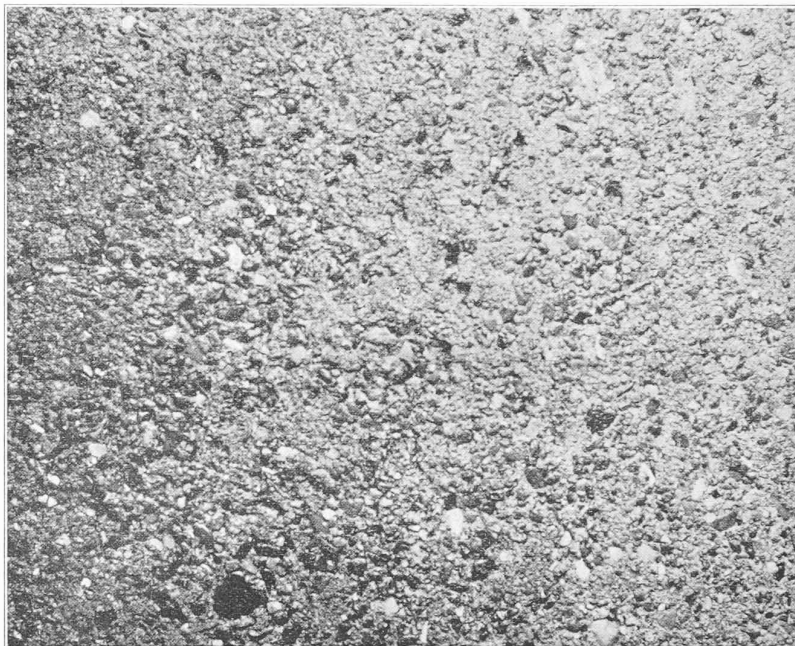


Fig. 4. — Décapage d'une surface en béton de ciment portland 4 : 2 : 1, après 270 jours d'immersion.

TABLEAU IV

*Dissolution du ciment portland dans l'acide acétique dilué.*

Acidité	% dissous en 24 heures (calculé comme chaux)
0,138 N	2,7
0,069 N	2,4
0,034 N	1,0
0,0069 N	0,25
nulle	0,02

*Nota.* — N signifie « normale », une solution « normale » d'un acide contenant 1 molécule-gramme d'acide par litre. (Une solution 0,138 N contient donc 0,138 mol.-gr. d'acide acétique au litre.) — *Réd.*

Pour apprécier pleinement la signification des chiffres portés dans les tableaux 3 et 4, il faut noter que la chaux est soluble jusqu'à 1,3 gr. par litre dans l'eau, et il a été calculé que la solubilité maximum possible si le ciment devait rester dans l'eau pendant une période suffisamment longue pour assurer la saturation avec la chaux, représenterait 4 % au lieu de la valeur de 0,02 % au bout de 24 heures. Il est évident que, bien que la saturation ne se soit produite dans aucune des expériences, la présence d'acide dilué a accru d'une façon très marquée le taux de dissolution du ciment. Dans le but d'élucider cette influence accélératrice de l'acide dans des solutions très diluées, de l'ordre trouvé en pratique, une méthode différente de celle décrite ci-dessus a été employée. Trois « solutions-tampons »<sup>1</sup> de  $p_H = 6,0$ ,  $6,6$ , et  $7,0$  furent constituées et le changement du  $p_H$  dû à la dissolution de

<sup>1</sup> Une « solution-tampon » est celle qui tend à maintenir son acidité ou son  $p_H$ . Elle possède une réserve d'acidité contre l'altération. Une quantité définie d'alcali est nécessaire pour en altérer l'acidité.

la chaux du ciment fut déterminé colorimétriquement. Les résultats sont indiqués dans le tableau 5.

TABLEAU V  
*Action d'acides très dilués sur le ciment.*

<i>pH</i> de la solution originale	Acidité relative	<i>pH</i> après 18 heures de contact avec le ciment	Variation du <i>pH</i> calculée comme chaux dissoute
6,0	100	6,5	0,02 gr.
6,6	25	6,7	0,005 gr.
7,0	10	7,0—7,1	0,0025 gr.

Il y a une relation distincte entre l'acidité relative de la colonne 2 et la quantité de chaux dissoute indiquée dans la colonne 4. La vitesse de dissolution du béton dans l'acide dilué semble être directement proportionnelle au *pH* de l'acide pour ces intervalles. L'analyse de la solution d'acide acétique qui a été en contact avec le ciment portland et avec le ciment alumineux pendant plusieurs jours a montré que les substances dissoutes sont principalement de la chaux pour le premier liant et de la chaux et de l'alumine dans le deuxième (tableau 6).

TABLEAU VI

*Matières dissoutes par l'acide acétique dilué dans le ciment portland et le ciment alumineux.*

Ciment portland	%	Ciment alumineux	%
Silice . . . . .	1	Silice . . . . .	3
Alumine et oxyde de fer . . . . .	2,5	Oxyde de fer . . . . .	7
Chaux . . . . .	96,5	Alumine. . . . .	38
		Chaux . . . . .	52

Les résistances comparatives du ciment portland et des ciments alumineux aux acides sont montrées par le fait que, alors que 3 % d'une prise d'essai du ciment portland se dissout au bout de 24 heures dans une solution acide 1,5 % seulement d'une prise analogue de ciment alumineux se dissout dans des conditions similaires.

Il est intéressant, ayant dans l'esprit les faits élucidés par ces expériences, d'examiner le béton qui a été exposé à l'eau pendant plusieurs années. Les échantillons de béton extraits des murs de la conduite représentée à la figure 2 furent analysés et les résultats sont indiqués dans le tableau 7.

TABLEAU VII

*Analyse du béton d'une conduite après 15 ans d'exposition à l'eau.*

	Echantillons			
	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4
Silice . . . . .	53,7	50,7	50,5	38,2
Alumine . . . . .	8,4	9,1	10,7	16,1
Oxyde de fer . . . . .	3,2	3,6	3,3	14,1
Oxyde titanique . . . . .	0,9	0,9	—	2,1
Chaux . . . . .	33,0	34,4	33,8	17,4
Oxyde de manganèse . . . . .	—	—	—	0,2

Les échantillons N°s 1 et 2 furent obtenus en broyant de grosses pièces de béton et en ne gardant que la fine poussière pour analyse. Ils représentent par conséquent l'analyse moyenne du mur de la conduite jusqu'à une profondeur de 10 cm à 12 cm. Les échantillons N°s 3 et 4 étaient des morceaux de la surface, N° 3 au-dessus et N° 4 au-dessous du niveau de l'eau. La particularité qui ressort de ces analyses est la grande perte en chaux qui est particulièrement évidente pour le béton au-dessous du niveau de l'eau.

Un autre examen fut fait d'un fragment de ciment pur qui s'était détaché de la conduite en service, matière analogue à celle que l'on voit au sommet de la porte représentée par la figure 3. Une coupe de cette matière est montrée par la figure 5. Trois zones distinctes sont en évidence, l'une extérieure de couleur brune et d'environ 1mm

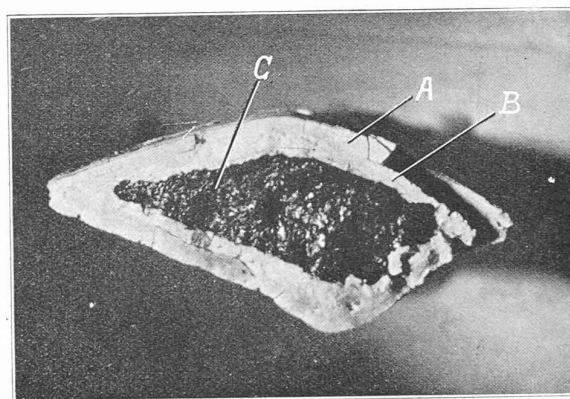


Fig. 5. — Coupe d'un fragment détaché de la conduite. A, zone externe; B, zone médiane; C, noyau.

d'épaisseur, une autre blanche de la même épaisseur, et intérieurement le noyau de ciment de couleur grise. L'aspect lisse de l'extérieur du ciment, lorsqu'il a été exposé à l'eau pendant de longues périodes, a été remarqué par M. S. C. Chapman de l'« Institution of Civil Engineers » dans un mémoire communiqué à cette institution (Notes sur un béton exposé aux eaux tourbeuses, volume 28, 1923). M. Chapman mentionne cependant seulement deux zones, tandis que l'examen du ciment dans le cas ci-dessus fait ressortir trois zones parfaitement distinctes qui ont été séparées et analysées. Les résultats sont donnés dans le tableau 8.

Le total correspond à 34,5 %, 52 %, et 69,1 % de silicates de chaux dans les 3 zones respectivement, alors que dans le ciment portland normal on en trouve de 80 à 83 %

TABLEAU VIII

*Teneur en chaux et silice d'un enduit en ciment après 15 ans d'exposition à l'eau.*

	Extérieur	Milieu	Intérieur
Chaux . . . . .	8,5 %	28,9 %	53,1 %
Silice . . . . .	26,0 %	23,0 %	16,0 %

L'eau dans laquelle ce ciment a été exposé était originaire de marais tourbeux avec un  $p_H$  de 6,6. L'analogie de ces attaques comparées à celles signalées par M. Chapman a suggéré une comparaison de l'acidité de l'eau d'Ecosse avec celle d'origine tourbeuse alimentant Torquay :

*Acidité de l'eau de Torquay.*

Provenance	Valeur du $p_H$	Acidité (Nombres arbitraires)
Kennick Stream	6.0	63
Blackingstone	6.3	32
South Teign	6.3	32

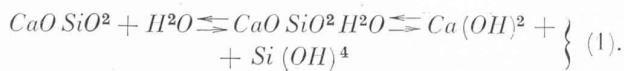
Pendant une expérience sur la dissolution des 2 ciments (portland et aluminéux) dans l'eau, les résidus après les lixiviations répétées sur une période de 6 mois montrèrent à l'analyse les résultats consignés dans le tableau 9.

TABEAU IX

*Analyse approximative des résidus après lixiviation avec l'eau.*

Ciment portland		Ciment aluminéux			
Après traitement	Avant	Après traitement	Avant		
Silice . . . .	56,9	25,0	Silice . . . .	16,8	8,0
Alumine . . .	14,6	8,0	Alumine . . .	57,7	38,0
Oxyde de fer	12,7	3,0	Oxyde de fer	13,9	9,0
Chaux . . . .	15,8	64,0	Chaux . . . .	11,6	45,0
	100,0	100,0		100,0	100,0

Résumant les résultats de ces expériences, l'équation symbolique suivante exprime l'action de l'eau sur les ciments étudiés :



Cette équation implique un état d'équilibre.

La suppression d'un constituant dans un membre de l'équation rompt cet équilibre et une compensation doit être exécutée en ajoutant de ce constituant dans l'autre membre de l'équation. Par exemple, si la chaux du côté droit est enlevée par un courant d'eau, alors la décomposition du silicate de chaux se produit du côté gauche de l'équation pour remplacer la chaux enlevée. Cela est simplement l'application de la loi bien connue de la Chimie-Physique, dite *loi de l'action des masses*, et il sera évident que la solution du problème qui consiste à protéger le béton se trouve dans l'emploi de méthodes qui maintiennent l'état d'équilibre figuré dans l'équation.

Plusieurs rapports et brevets ont été publiés au sujet de méthodes préconisées pour protéger le béton contre l'action de l'eau et un bref résumé des conclusions obtenues a un certain intérêt.

Des additions au béton au moment du gâchage accroissent sa résistance à l'eau, mais diminuent sa résistance mécanique. Les matières finement moulues possèdent un avantage, car elles réduisent la perméabilité. Les peintures et vernis donnent de mauvais résultats, mais les huiles siccatives ont un bon effet pour une longue durée.

Le silicate de soude ne diminue pas beaucoup la perméabilité et d'après certains il produit des exfoliations. Les additions de laitier sont généralement considérées comme sans avantage, mais la paraffine, les cires et la stéarine sont très utiles ; il en est de même des savons gras et des huiles. Les matières résineuses et les solutions aqueuses ne sont pas durables. Les mortiers riches et les ciments purs sont largement employés ; en fait, plus le mélange est riche, meilleure est la protection. (A suivre).

## Le grand téléphéage des chantiers des Forces motrices de l'Oberhasli.

Les travaux en cours pour l'aménagement de l'Oberhasli, dont le projet a été décrit dans nos numéros du 25 avril et du 9 mai 1925, comportent, entre autres, l'édification des deux barrages du Grimsel proprement dits et le barrage du Gelmer. Les barrages du Grimsel sont actuellement en pleine construction tandis que celui du Gelmer est près de son achèvement. Ces trois barrages

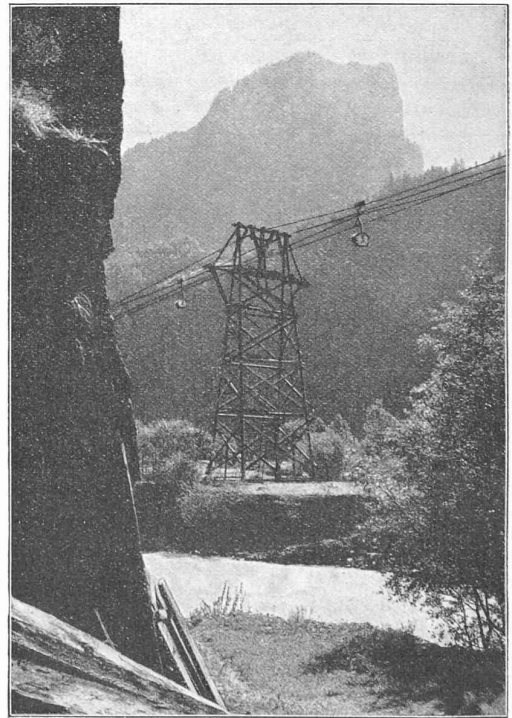


Fig. 1. — Pylône en bois.

sont en béton coulé dont le cube total est de 470 000m<sup>3</sup>. Le poids total de ciment nécessaire aux barrages précités et pour d'autres ouvrages s'élève à une centaine de mille tonnes et le programme des travaux prévoit un approvisionnement en ciment à raison de trente tonnes à l'heure. Quoiqu'une bonne route de montagne reliât déjà la station terminus des C. F. F., à Meiringen, aux chantiers du Grimsel, le transport d'une telle quantité de ciment par camion aurait été beaucoup plus coûteux