Chronique du LMP

Laboratoire des matériaux pierreux de l'EPF Lausanne

L'obstruction des canalisations et drainages en béton filtrant par les dépôts calcaires

Y. Houst, chimiste au LMP, et J.-P. Delisle, professeur à l'EPFL et directeur du LMP

Les opinions émises dans cette chronique le sont sous la responsabilité propre des auteurs des articles mais n'engagent pas celle du Laboratoire des matériaux pierreux de l'EPFL.

1. INTRODUCTION

Des dégâts plus ou moins importants peuvent résulter de l'obturation des canalisations et drainages: humidité provoquant l'apparition de taches et de moisissures, suivie de décollements de papiers peints, enduits et autres finitions; inondations rendant les locaux inutilisables et ruinant les équipements qu'ils contiennent; soulèvements de certaines parties de la construction et mise en danger de sa stabilité par l'apparition de sous-pressions.

L'origine des dépôts ayant causé les obstructions peut être soit naturelle, soit accidentelle et due à la négligence: par exemple, injection de ciment, dépôts de laitance de ciment, sables et graviers provenant du lavage de bétonnières ou d'autres équipements. Il arrive parfois qu'à la fin d'un chantier une partie des canalisations soit déjà obstruée par de tels dépôts.

Dans la présente chronique, nous rappelons que l'hydratation des ciments Portland est accompagnée de libération de chaux qui peut être délavée et entraînée dans les canalisations et drainages lorsque le béton n'a pas été parfaitement compacté. Certaines eaux naturelles, fortement chargées en bicarbonate de calcium, sont également susceptibles de déposer du calcaire. Après avoir analysé les processus les plus fréquents de formation des dépôts calcaires, nous attirons l'attention sur les dangers que peuvent présenter les bétons de CP filtrants et nous exposons les résultats d'une enquête effectuée à ce sujet en Suisse romande.

Pour les lecteurs peu familiers avec la chimie, nous avons groupé à la figure 1 les principaux termes et symboles chimiques utilisés dans la chronique.

$CaCO_3$	= carbonate de calcium = calcaire		CaO	= chaux vive = oxyde de calcium	
$Ca(OH)_2$	= hydroxyde de calcium		SiO_2	= silice = oxyde de silicium	
$Ca(HCO_3)_2$	= bicarbonate de calcium		Al_2O_3	= alumine = oxyde d'aluminium	
CO_2	= gaz carbonique		Fe_2O_3	= hématite = oxyde de fer	
H_2O	= eau				
$CaSO_4$	= sulfate de calcium				

Fig. 1. Principaux termes et symboles chimiques utilisés dans la chronique.

2. HYDROXYDE DE CALCIUM FORMÉ LORS DE L'HYDRATATION DES CIMENTS PORTLAND

Les deux principaux constituants anhydres du ciment Portland sont le silicate tricalcique 3CaO, SiO_2 (C_3S en notation abrégée) et le silicate bicalcique 2CaO, SiO_2 (C_2S en notation abrégée). Ils représentent ensemble environ les 75% en poids du ciment Portland. En s'hydratant, ils forment des gels d'hydrosilicate de calcium ayant une proportion chaux-silice (C/S en notation abrégée) voisine de 1,5 auxquels on donne le nom de tobermorite. Comme dans les constituants anhydres C_3S et C_2S, la proportion C/S est égale respectivement à 3 et à 2, il y a un excès de chaux C lors de la formation de la tobermorite. Cet excès de chaux s'hydrate en formant de l'hydroxyde de calcium $Ca(OH)_2$. Ces réactions sont représentées à la première ligne de la figure 2 illustrant de façon simplifiée l'hydratation du ciment Portland.

Si l'on admet que le ciment Portland s'hydrate entièrement selon les équations simplifiées de la figure 1, il se forme environ 94 kg d'hydroxyde de calcium $Ca(OH)_2$ par m³ de béton dosé à 300 kg de CP. En fait, les quantités de $Ca(OH)_2$ que l'on trouve dans un béton durci sont toujours plus faibles. En effet, il reste toujours une partie de ciment non hydraté (surtout du silicate bicalcique C_2S), les produits d'hydratation des deux autres constituants du ciment C_3A et C_4AF se transforment lentement en dérivés tétracalciques en absorbant un peu de chaux et une partie du $Ca(OH)_2$ peut se transformer en carbonate de calcium $CaCO_3$ en présence de gaz carbonique. Néanmoins, les quantités de $Ca(OH)_2$ resté libre demeurent importantes et sont généralement comprises entre 30 et 45 kg par m³ de béton dosé à 300 kg de CP (réf. 1, 2). Elles peuvent même, dans certains cas, atteindre jusqu'à 75 kg par m³ [réf. 3].

3. MODES DE FORMATION DES DÉPÔTS CALCAIRES

L'hydroxyde de calcium qui, d'une part, crée un milieu basique protégeant les armatures du béton armé contre la corrosion et, d'autre part, assure la stabilité des autres constituants hydratés, est malheureusement soluble dans l'eau. Un litre d'eau pure à 0° C peut dissoudre 1,30 g de $Ca(OH)_2$ et à 25° C 1,13 g. La solubilité de $Ca(OH)_2$ décroît donc quand la température augmente.

Si de l'eau saturée en chaux se réchauffe, il se produit des dépôts blan-

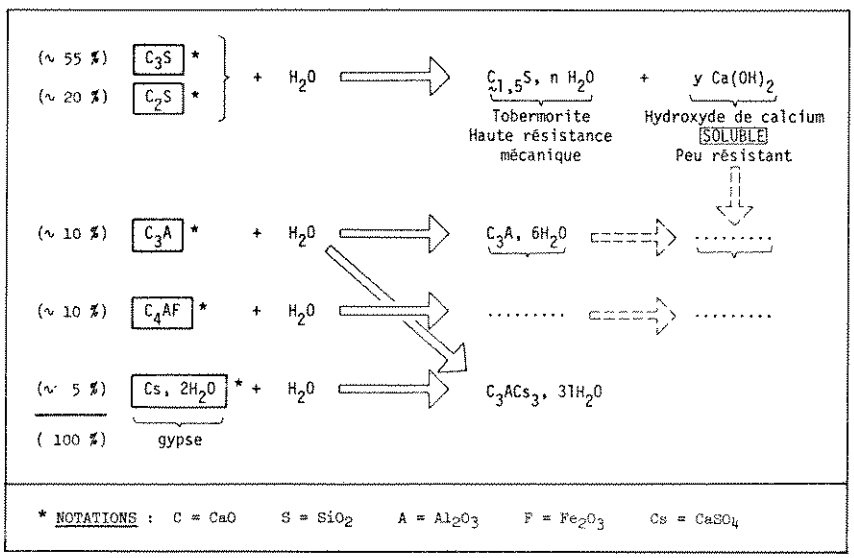

Fig. 2. Hydratation du ciment Portland.

châtres de $Ca(OH)_2$ d'un effet peu esthétique que l'on observe fréquemment sur les lèvres de fissures, aux joints et reprises de bétonnage mal faits, ainsi qu'aux points de sortie d'eaux ayant traversé du béton peu compact (figures 3 et 4). Les dépôts, qui sont initialement peu résistants, réagissent avec le gaz carbonique de l'air et forment du calcaire selon l'équation:

$$Ca(OH)_2 + CO_2 \longrightarrow CaCO_3 + H_2O \qquad (1)$$

Ce n'est cependant pas le seul processus par lequel du calcaire peut être déposé. On sait que le calcaire peut être dissous dans l'eau lorsque cette dernière contient du gaz carbonique CO_2. L'eau se charge alors en bicarbonate de calcium $Ca(HCO_3)_2$ jusqu'à ce qu'un équilibre soit réalisé entre la teneur en bicarbonate de calcium et celle en gaz carbonique dissous dans l'eau:

$$CaCO_3 + CO_2 + H_2O \underset{\text{dépôt}}{\overset{\text{dissolution}}{\rightleftharpoons}} Ca(HCO_3)_2 \qquad (2)$$

La réaction (2) peut aussi évoluer de droite à gauche. Par exemple, si une eau bicarbonatée en équilibre avec le gaz carbonique dissous qu'elle contient se réchauffe, sa teneur en gaz carbonique se réduit et elle dépose du calcaire qui forme le «tartre» dans les casseroles, le tuf au bord des rivières et sources, les stalactites et les stalagmites dans les grottes (figures 5, 6 et 7). Des analyses de laboratoire permettent de déterminer si une eau est à l'équilibre ou si elle a tendance à dissoudre ou déposer du calcaire (eau agressive ou incrustante).

Les eaux bicarbonatées, comme le sont la plupart des eaux naturelles, peuvent également déposer du calcaire en entrant en contact avec des eaux chargées d'hydroxyde de calcium $Ca(OH)_2$.

$$Ca(OH)_2 + Ca(HCO_3)_2 \longrightarrow \underline{2CaCO_3} + 2H_2O \qquad (3)$$

C'est ce type de réaction qui se produit lorsque des eaux de pluie qui se sont chargées en hydroxyde de calcium en délavant des éléments en béton ou des chapes en mortier de ciment Portland peu compact d'une toiture plate, par exemple, entrent en contact avec des eaux bicarbonatées provenant d'une autre conduite (figures 8 et 9).

Ce type d'obstruction se produit fréquemment et les laboratoires sont souvent consultés à ce sujet. Bien que le phénomène soit très connu, il est curieux que peu de personnes, en tout cas en Suisse, se soient inquiétées si des délavages et des obstructions du même genre que celles décrites à la figure 8 ne risquaient pas de se produire lorsque l'on fabriquait intentionnellement du béton poreux, jouant le rôle de drainage.

Nous avons procédé à une enquête dans les cantons de Genève, de Neuchâtel et de Vaud pour nous rendre compte si des obstructions de canalisations ou du drainage lui-même avaient été observées lorsque des bétons filtrants de CP avaient été utilisés [réf. 4]. Les résultats de cette enquête sont exposés dans les deux chapitres suivants.

On notera que le risque de délavage de l'hydroxyde de calcium ne se pose en général pas dans le cas de bétons compacts et étanches. En effet, l'eau ne peut pas pénétrer à l'intérieur du béton et y délaver l'hydroxyde de calcium. D'autre part, si l'eau est légèrement bicarbonatée ou acide, à cause de la présence de gaz carbonique, l'hydroxyde de calcium à la surface du béton réagit avec le bicarbonate de l'eau ou le gaz carbonique en formant du carbonate peu soluble qui reste incrusté à la surface du béton et le protège contre une dissolution subséquente.

4. DESCRIPTION DE QUELQUES CAS D'OBSTRUCTION DE DRAINAGES EN BÉTON FILTRANT DANS DES BÂTIMENTS

Premier cas

Il s'agit d'un garage souterrain de trois étages construit en bordure d'une rivière. Le système de protection contre les eaux comprenait un rideau d'injection côté colline (figure 10), un sous-radier en béton filtrant avec un réseau de drains constitué de tuyaux en béton filtrant et comportant des regards d'entretien tous les 30 m et une paroi drainante en béton filtrant côté cours d'eau. Le drainage avait pour but d'abaisser la nappe à l'intérieur de l'enceinte délimitée par le rideau d'injection et la paroi drainante.

Le béton filtrant formant le radier et la paroi drainante côté rivière est un béton poreux sans sable composé de gravier 8/30 avec un dosage en ciment Portland de 200 kg par m³. Une telle solution est souvent utilisée, à Genève par exemple, car un sous-radier en béton drainant assure à la fois une surface de travail propre et résistante et un drainage efficace du sol. Dans certains cas, le sous-radier en béton drainant sert encore d'appui provisoire aux parois de soutènement de la fouille.

Une année seulement après le bétonnage du sous-radier, des taches et infiltrations d'eau sont apparues au moment des hautes eaux. Il a été constaté qu'une grande partie des drains étaient colmatés. Dans les drainages côté cours d'eau, les dépôts étaient constitués essentiellement de carbonate de calcium tapissant entièrement l'intérieur du drain sur une épaisseur de 5 mm avec, par endroits, des traînées de coulis argile-ciment (une brèche de la paroi moulée avait dû être injectée). Les drainages côté colline étaient partiellement colmatés par du carbonate de calcium, partiellement par du coulis argile-ciment provenant d'une injection complémentaire effectuée dans le voile d'étanchéité et partiellement par de la boue et des débris divers.

Malgré le nettoyage des drains par lance à haute pression, il a été nécessaire de percer la couche de béton filtrant au droit des regards pour drainer directement le sol et rabattre la nappe à un niveau satisfaisant.

L'eau du cours d'eau a une dureté totale de 14° fr et sa température varie de 4 à 20° C selon la période de l'année. L'eau de la nappe phréatique provenant de la colline a une dureté totale de 24 à 25° fr et sa température reste constante à 12° C ± 1° C. Le colmatage du système drainant peut être attribué à plusieurs causes.

Le premier processus qui se produit est celui correspondant à l'équation (3) vue plus haut. Le bicarbonate dissous dans les eaux plus ou moins dures du cours d'eau et de la nappe provenant de la colline réagit avec le $Ca(OH)_2$ du béton filtrant en précipitant du calcaire qui est entraîné dans le système de drainage où il se dépose.

Après cette précipitation de calcaire, l'eau peut dissoudre à nouveau de l'hydroxyde de calcium du ciment. Si elle rencontre une eau bicarbonatée, il se produit alors un dépôt de calcaire selon le schéma de la figure 10.

Pour en terminer avec ce premier cas, notons que les frais produits par le colmatage du drainage sont loin d'être négligeables. Les frais de réparation et modification du réseau de drainage (1050 m de tuyau filtrant) se sont élevés à environ Fr. 40 000.— et les frais d'entretien, essentiellement curage, se sont montés à Fr. 24 000.— la première année. En outre, le 3e sous-sol n'a pas pu être utilisé pendant plusieurs mois.

Autres cas

Un autre cas, analogue à celui qui vient d'être décrit, nous a été signalé à Genève. La fouille se trouve à proximité de l'Arve. Un colmatage causé par la formation de carbonate de calcium a été observé une année après la fin des travaux dans la zone située autour de la fosse de pompage bien que le débit ne soit que de 1 m³ par jour environ. Il est probable que le colmatage soit dû à la rencontre d'une eau chargée en hydroxyde de calcium et d'une eau

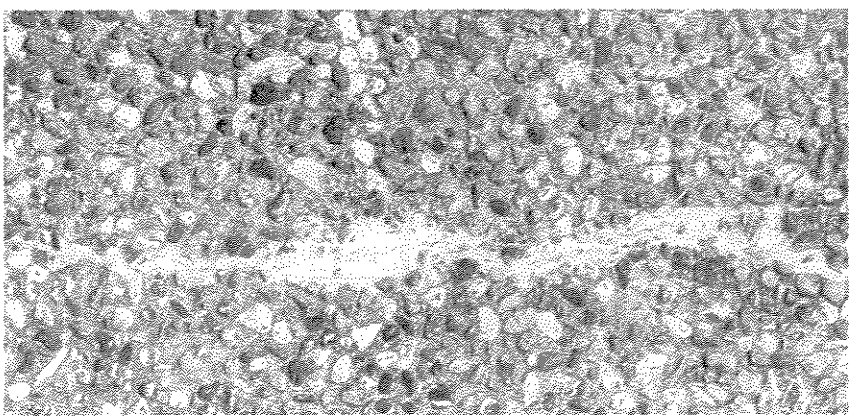

Fig. 3. Dépôt de chaux à la surface d'une fissure.

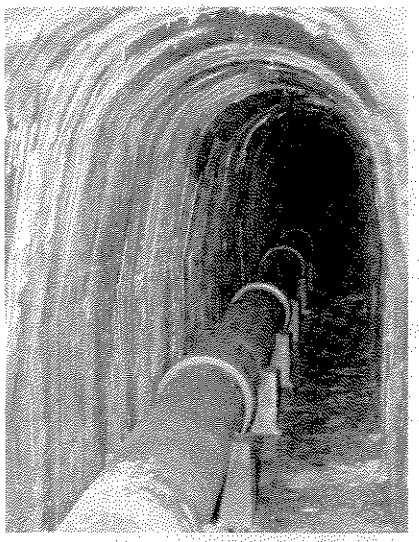

Fig. 4. Dépôts de chaux partiellement carbonatée provenant du délavage de béton peu compact. Les dépôts sont formés selon la réaction (1).

bicarbonatée. Par contre, aucun colmatage n'a été observé dans une autre construction faite selon le même principe, mais située dans une région ne se trouvant pas à proximité d'une rivière.

A Lausanne, lors d'une reprise en sous-œuvre, entreprise pour construire un atelier en sous-sol, une paroi drainante en béton filtrant 8/30 dosé à 140 kg de CP par m³ a été mise en place. Le débit capté dans le drainage était de 10 à 12 l/min. Deux ans plus tard, les canalisations étaient colmatées. La mise en pression de l'eau derrière les murs a provoqué un soulèvement du dallage, diverses infiltrations d'eau et destructions de crépis. Comme les tuyaux drainants étaient en matière plastique à laquelle les dépôts de carbonate de calcium adhéraient mal, il a été possible de purger les tuyaux. Quelques regards de contrôle ont alors été mis en place pour faciliter ultérieurement les opérations de curage.

Le dernier cas que nous citerons pour les obstructions survenues dans des bâtiments se rapporte à une utilisation de plaques préfabriquées de béton filtrant. La figure 11 montre la disposition adoptée pour le drainage du bâtiment. Il s'agit d'une disposition classique. Des dégâts sont apparus dès la fin des travaux à la suite de l'obstruction des tuyaux de drainage par du carbonate de calcium et du limon.

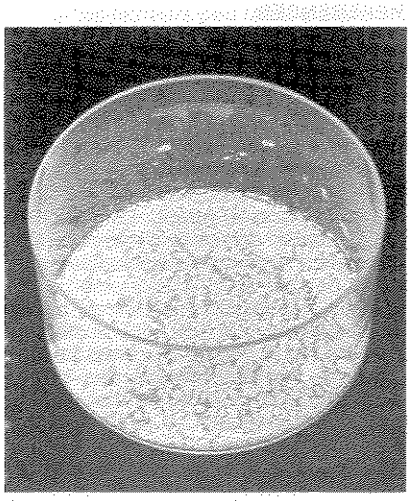

Fig. 5. Dépôt de calcaire dans un récipient en verre, obtenu en évaporant 1 litre d'eau contenant une forte teneur en bicarbonate de calcium. Le dépôt s'est formé selon la réaction (2). L'appellation populaire de «tartre» est incorrecte du point de vue chimique.

Il y a de fortes chances qu'une bonne partie de carbonate de calcium qui s'est déposé dans les conduites provienne du délavage des plaques en béton filtrant. En effet, la quantité de carbonate déposé s'est réduite avec le temps, ce qui ne serait pas le cas si le carbonate de calcium déposé provenait d'eaux calcaires incrustantes, et il a été trouvé des dépôts calcaires à l'intérieur de certaines plaques filtrantes.

5. OBSTRUCTION DE DRAINAGES EN BÉTON FILTRANT DANS DES CONSTRUCTIONS ROUTIÈRES

Dans de nombreux ouvrages, des bétons poreux ont été utilisés soit comme béton de remplissage drainant derrière des murs de soutènement ou des parois ancrées, soit comme blindage drainant entre des pieux ou des puits. Dans la plupart de ces cas, des colmatages de drains par du carbonate de calcium et divers autres dépôts ont été observés. Les dépôts de carbonate de calcium proviennent en grande partie du délavage du béton filtrant, et peut-être également, lorsqu'il y a des tirants, d'un délavage des injections de ciment ayant servi à sceller les ancrages.

Généralement, les services d'entretien disposent d'équipements appropriés pour le nettoyage des drains. Ces derniers sont purgés une à deux fois par année au moyen d'une lance à haute pression. Une tête foreuse permet de débloquer les zones ayant résisté au lavage à haute pression. Ce n'est que rarement que des canalisations ont dû être ouvertes. D'une manière générale, les drainages en matière plastique se nettoient plus facilement, car les dépôts calcaires adhèrent mal à leur surface.

Des travaux de curage particulièrement fréquents doivent être entrepris dans un tunnel à cause du colmatage des drains causé par le délavage d'un béton de remplissage maigre ayant été utilisé dans le radier.

Dans un canton qui ne possède pas d'équipement de curage à tête foreuse, les dépôts qui se sont formés dans le drainage d'un ouvrage se sont consolidés à un point tel qu'il n'est plus possible de les déboucher par jet d'eau sous pression. Le problème du nettoyage des drains est à l'étude.

En général, il ne semble pas que le colmatage des drainages par suite du délavage du béton filtrant soit un problème important dans les constructions routières, car les services d'entretien ont l'habitude de déboucher des drains. Il faudrait toutefois encore vérifier qu'un colmatage important ne se produit pas à l'intérieur même du béton filtrant, auquel cas un curage des tuyaux de drainage serait inopérant. On a vu, dans le cas du garage de la figure 10, que le curage des tuyaux drainants n'avait pas suffi pour rabattre la nappe à un niveau admissible et qu'il avait fallu forer de nouveaux points de drainage.

Il est possible qu'un tel phénomène se produise localement dans les drainages en béton filtrant situé derrière des murs de soutènement routiers. Il n'en résulte vraisemblablement qu'une faible élévation du niveau de l'eau derrière le mur que personne ne remarque. Jusqu'à maintenant, aucun accident grave n'en est résulté.

Fig. 6. Tuf calcaire naturel.

6. FACTEURS LIMITANT LE DÉLAVAGE

La réalisation de bétons compacts et étanches permet en général de diminuer fortement le délavage de la chaux. En effet, l'eau ne peut plus pénétrer à l'intérieur des bétons et le délavage n'est donc que superficiel. Cette solution n'est naturellement pas applicable aux bétons poreux. Pour ceux-ci, il faut utiliser des liants libérant peu ou pas de composés solubles lors de l'hydratation ou du durcissement. On peut naturellement utiliser des résines synthétiques, mais leur coût très élevé par rapport à celui du ciment limite fortement leur emploi.

L'utilisation de ciment pouzzolanique, de trass ou de laitier permettrait de diminuer la chaux susceptible d'être délavée. En effet, les pouzzolanes naturelles ou artificielles ont la propriété de réagir avec la chaux en formant des composés insolubles dans l'eau. Certaines pouzzolanes peuvent fixer plus de 30 g de CaO par 100 g de pouzzolane après 1 mois [réf. 2]. Les ciments de laitier, eux, dégagent en s'hydratant moins d'hydroxyde de calcium que les ciments Portland purs. Les ciments pouzzolaniques et de laitier développent leur résistance plus lentement que les ciments Portland, mais les résistances finales peuvent être élevées à condition que le béton reste longtemps humide et à une température suffisante pour que les réactions continuent à se produire. Le développement plus lent de la résistance est un obstacle important à l'emploi de ces ciments pour la confection de certains bétons caverneux. En effet, ces bétons sont souvent utilisés pour fixer les pieds de palplanches ou

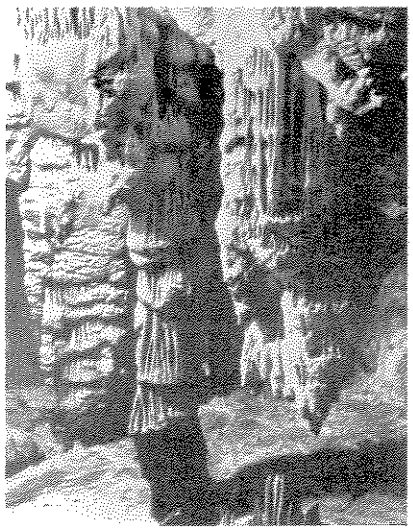

Fig. 7. Stalactites dans une grotte.

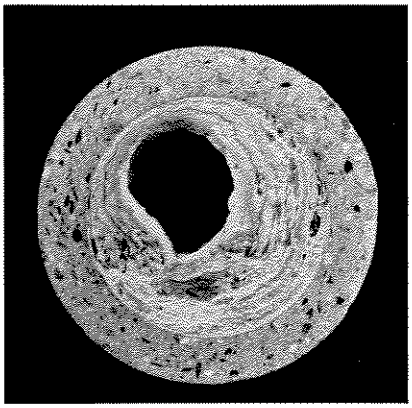

Fig. 8. Coupe d'un tuyau partiellement obturé par un dépôt de calcaire. Le dépôt s'est formé selon la réaction (3).

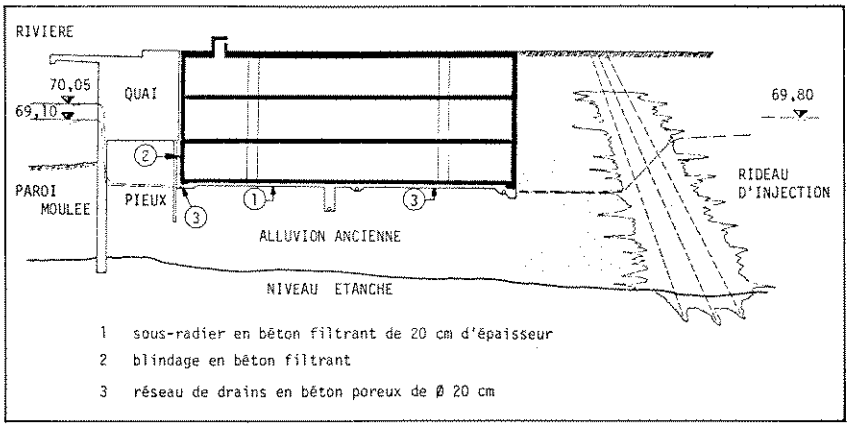

Fig. 10. Coupe type du garage.

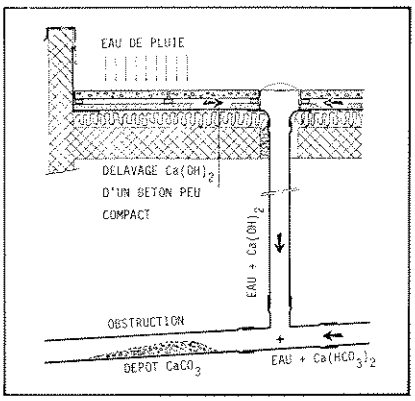

Fig. 9. Obstruction d'une canalisation au pied d'une descente d'eau de toiture.

stabiliser le terrain et ils doivent résister à des contraintes relativement importantes après 24 h déjà, 3 N/mm² (30 kg/cm²) par exemple. De telles résistances ne sont normalement pas atteintes avec des ciments pouzzolaniques ou de laitier. De plus, comme aucun ciment pouzzolanique ou de laitier n'est fabriqué en Suisse, l'importation n'est envisageable que pour des travaux importants.

Les pièces préfabriquées en béton de CP poreux, si elles sont stockées plusieurs semaines à l'air, voient leur résistance au délavage augmenter, car l'hydroxyde de calcium en contact avec l'air se carbonate sous l'action du gaz carbonique contenu naturellement dans l'air (équation 1). On pourrait envisager d'accélérer le processus par une carbonatation artificielle.

De nombreux types d'essais de délavage de pâtes de ciment, mortiers et bétons ont été développés [réf. 1 et 2]. L'essai de Santarelli [réf. 5 et 6], qui permet de comparer plusieurs ciments et de déterminer leurs résistances respectives au délavage, a beaucoup été utilisé en Italie pour étudier l'efficacité des ciments pouzzolaniques.

7. CONCLUSIONS

Parmi les causes possibles d'obstruction des canalisations et drainages, les dépôts de carbonate de calcium sont particulièrement fréquents. Les remarques suivantes peuvent être faites à ce sujet:

a) De nombreuses eaux naturelles peuvent précipiter du calcaire si elles se réchauffent et que l'équilibre entre le bicarbonate de calcium et le gaz carbonique dissous n'est plus réalisé (eaux incrustantes).

b) Des dépôts de carbonate de calcium se forment lorsque de l'eau ayant dissous de l'hydroxyde de calcium provenant de l'hydratation du ciment Portland rencontre une eau calcaire contenant du bicarbonate de calcium.

c) Les ingénieurs et techniciens ignorent très souvent l'existence d'un risque de délavage du ciment Portland lorsque le béton n'est pas compact et les conséquences que cela peut entraîner pour les canalisations. De ce fait, ils oublient souvent d'informer les maîtres d'ouvrage de la nécessité de nettoyer périodiquement les canalisations et ne prévoient pas des regards en nombre suffisant pour faciliter les opérations de curage.

d) Un colmatage du drainage d'un bâtiment provoque des taches d'humidité et des dégâts plus ou moins importants que remarquent immédiatement les utilisateurs des sous-sols du bâtiment. Dans le cas d'ouvrages routiers, les drainages sont curés périodiquement et un colmatage temporaire des drainages n'entraîne en général pas de graves inconvénients pour autant que la stabilité de l'ouvrage ne soit pas mise en danger.

e) L'emploi d'un liant ne libérant que peu ou pas de chaux lors de l'hydratation ou du durcissement pose certains problèmes: soit le liant est trop coûteux (résines synthétiques), soit il ne permet pas la confection de béton suffisamment résistant à un jeune âge tout en ayant encore les inconvénients d'exiger une cure prolongée et de ne pas être disponible sur le marché suisse (ciments pouzzolaniques ou de laitier).

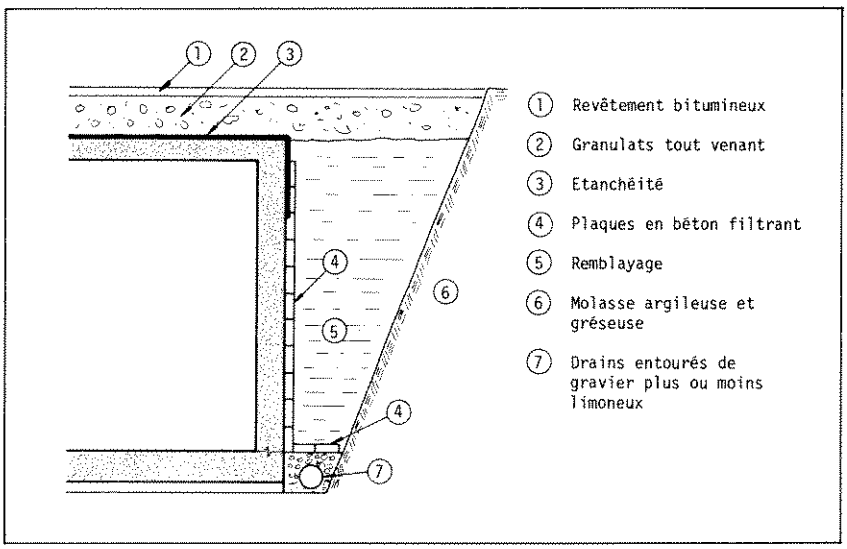

Fig. 11. Drainage avec plaques en béton filtrant.

RÉFÉRENCES

[1] J. O. Ross af Hjelmsäter, *Chemical Action of Aggressive Waters on Cement,* Association internationale pour l'essai des matériaux, Congrès Zurich, sept. 1931, tome I, AIEM Zurich 1932.

[2] F. M. Lea, *The Chemistry of Cement and Concrete,* Arnold, London 1970.

[3] I. Biczok, *Concrete Corrosion, Concrete Protection,* Akadémiai Kiado, Budapest 1972.

[4] J.-P. Delisle, *Obstruction de drainages formés par une couche de béton filtrant de ciment Portland,* symposium sur le drainage des routes, OCDE, Berne, 22 au 25 mai 1978.

[5] L. Santarelli et C. Cesarini, *Contributo allo studio della resistenza chimica dei cementi al delavamento da parte da acque pure,* L'Industria Italiana del Cemento **19**, 100 (1949) et **19**, 126 (1949).

[6] G. Goggi, *Ulteriori progressi nel controlo del dilavamento dei cementi da parte di acque pure,* L'Industria Italiana del Cemento, **30** (12), 3 (1960).