

Les étanchéités de ponts

Autor(en): **Kilcher, Friedrich / Fouvy, Michel**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Ingénieurs et architectes suisses**

Band (Jahr): **107 (1981)**

Heft 5

PDF erstellt am: **17.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-74306>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Les étanchéités de ponts

par Friedrich Kilcher, Soleure, et Michel Fouvy, Cully

Nous décrivons et examinons les dégâts que l'on rencontre couramment sur les ouvrages d'art en béton armé et précontraint. Nous analysons ensuite ces dégâts pour essayer de découvrir leurs causes. La recherche de ces causes nous conduit à préciser les fonctions exactes de l'étanchéité dans la protection de l'ouvrage d'art en béton.

Nous présentons les essais entrepris dans plusieurs laboratoires européens et donnons un aperçu des résultats que l'on a obtenus avec les étanchéités à base de néoprène (Efkaprène).

Enfin, nous examinons quelles possibilités sont offertes actuellement dans le domaine des étanchéités de ponts et décrivons en détail la méthode qui consiste à utiliser une étanchéité à base de néoprène et un revêtement routier en asphalte coulé. Nous terminons par la présentation d'une protection des bordures de ponts au moyen d'un revêtement à base d'élastomère.

1. Généralités

On lit régulièrement dans la presse des articles relatant des dégâts survenus à des ouvrages récents ou l'effondrement retentissant d'une construction. On peut se demander pour quelles raisons les journaux techniques ne présentent pas plus d'articles au sujet de tels événements. En effet, l'analyse des dégâts conduit directement à découvrir leurs causes.

N'est-ce pas en tout premier lieu la recherche et la science qui devraient être intéressées à chercher la cause des dégâts?

Les réponses, presque toujours négatives, données par des maîtres d'œuvre victimes d'un dégât nous étonnent. Il est évident que l'on ne parle pas volontiers de ses propres dommages.

Nous avons essayé de trouver une aide de la part des hautes écoles, mais en vain: «Attendez les résultats de la Science», nous a-t-on répondu. Nous avons perçu un sentiment de méfiance à l'égard de l'entrepreneur; peut-être craignait-on simplement le reproche de la partialité? Mais pouvons-nous nous permettre d'attendre plus longtemps la Science pendant que des dégâts évalués à des millions se produisent, et qui sont à la charge de la société?

Le manque de collaboration et d'information entre les institutions a pour conséquence que dans bien des cas, des fautes déjà connues se reproduisent par méconnaissance et par amour-propre mal placé.

Ce sont les dégâts paraissant inexplicables, constatés sur nos propres travaux ou observés ailleurs, qui nous ont conduit à rechercher leurs causes, ceci dans l'optique de leur prévention dans le futur et d'apporter ainsi des solutions définitives en supprimant leur sources.

La protection des ponts en béton est l'un de ces domaines de recherche, il est

présenté dans cet article. Nos recherches sont partiellement basées sur les dégâts cités; quelques-unes des solutions pourront paraître unilatérales à certains lecteurs; pour nous aussi, elles n'ont pas toujours provoqué dès le début un très grand enthousiasme.

Cependant, les résultats des recherches doivent toujours être reçus et interprétés avec un esprit critique: la recherche ne donne des réponses claires qu'à des questions précises!

Beaucoup de questions restent encore en suspens; dans certains cas, les réponses ont une importance très grande du point de vue économie politique. Dans bien des cas, c'est la pratique qui précède la science.

Pourquoi la «recherche publique» ne poursuit-elle pas ce travail avec un but précis et se basant sur le savoir des hommes de métier et des praticiens?

2. Dégâts

L'étanchéité d'un pont a pour fonction de protéger la surface du béton se trouvant sous le revêtement routier, ainsi que les parties du pont non accessibles aux véhicules (bordures, parapets, etc.).

L'analyse des dégâts permet de fournir des renseignements intéressants pour l'élaboration de nouveaux projets. L'examen approfondi des dommages et la recherche de leurs causes nous aident à les éviter. C'est la raison pour laquelle nous nous proposons d'examiner dans ce chapitre les dégâts survenus à nos propres travaux ainsi qu'à ceux d'autres entreprises spécialisées.

Les dégâts peuvent être provoqués par des influences extérieures ou provenir de l'incompatibilité de l'un des matériaux de base. Le matériau incompatible ne causera pas forcément un dégât. Un matériau peut se détériorer lui-même.

Dégâts provoqués par des influences extérieures

Le trafic

Le trafic est la cause:

- de vibrations provoquant des fissures et l'éclatement par fatigue du béton,
- de phénomènes de fatigue dans le revêtement routier,
- d'ornières dans le revêtement. Le revêtement est compacté ou déformé, ce qui peut endommager l'étanchéité,
- de fuites de benzine,
- d'affaissement et de fluage du revêtement dans les endroits en pente et dans les courbes,
- de dégâts mécaniques divers. A part les sollicitations dues au trafic normal, il faut aussi tenir compte des machines d'entretien:

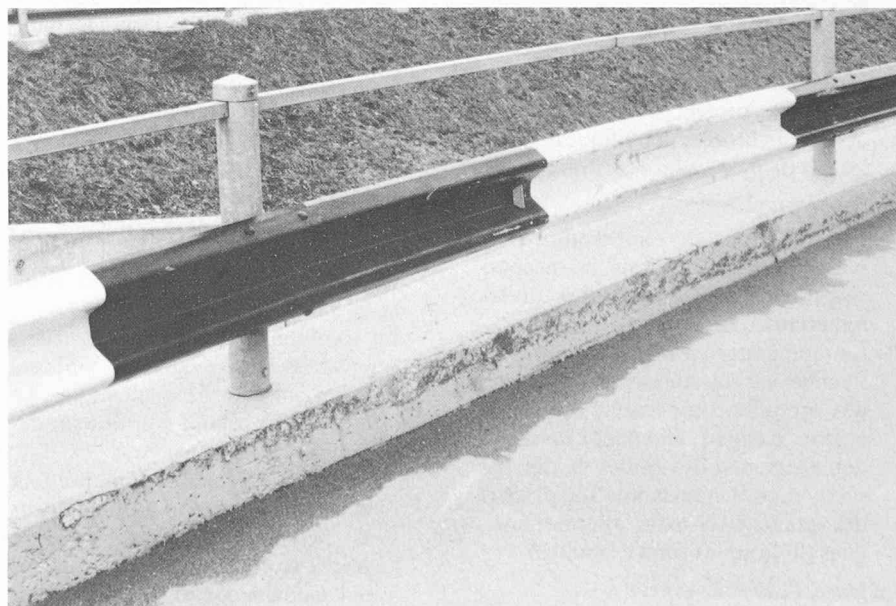


Fig. 1. — Protection de bordures endommagée par le chasse-neige.

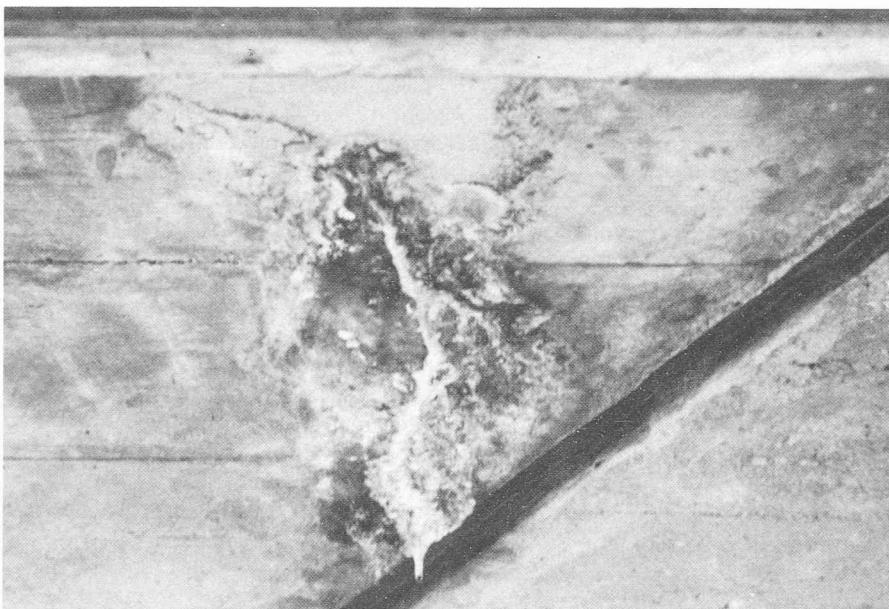


Fig. 2. — Efflorescence d'hydroxyde de calcium apparaissant à l'endroit d'une fissure du tablier d'un pont.



Fig. 3. — Bulles apparues sous une feuille préfabriquée à base de bitume modifié.

le chasse-neige endommage la surface de roulement, les joints de dilatation et les bordures (fig. 1), les engins de nettoyage peuvent arracher la protection des bordures avec leurs brosses métalliques, les cas de panes ou d'accidents.

La température

- Les variations de température provoquent des dilatations et raccourcissements différentiels des divers matériaux d'un pont.
- La température a une très grosse influence sur la dureté et l'élasticité des produits composant l'étanchéité et le revêtement; elle peut causer des déplacements, des bulles et des fissures dans l'étanchéité. La plupart des étanchéités sont thermoplastiques (le froid les rend cassantes).

La glace, l'eau et la vapeur

- L'eau de pluie pénètre dans les fissures, dissout l'hydroxyde de cal-

cium et affaiblit par conséquent le béton. De nos jours, l'eau de pluie contient des sels dissous (fig. 2).

- L'eau de pluie traverse le revêtement routier et sépare le bitume des agrégats (désenrobage).
- L'eau oxyde les armatures, cette rouille gonfle et fait éclater le béton.
- L'eau augmente de volume en gelant: ce gonflement peut causer des dégâts au béton, à l'étanchéité et au revêtement.
- La combinaison *béton - étanchéité - revêtement routier* contient toujours de l'eau sous forme quelconque. Le rayonnement solaire entraîne un dégagement de vapeur. La pression de vapeur se manifeste à l'intérieur du béton, directement sous l'étanchéité ou aussi entre l'étanchéité et le revêtement (surtout avec l'asphalte coulé). Cette pression peut être si forte qu'elle conduise à une formation de

bulles et à un décollement entre l'étanchéité et son support de béton ou à un décollement entre le revêtement et l'étanchéité (fig. 3).

Le sel

- L'eau salée pénètre dans le béton, surtout par les fissures, oxydant ainsi les armatures. Cette rouille gonfle et fait éclater le béton.
- L'eau salée peut aussi désagréger un revêtement (enrobé).
- Le choc thermique provoqué par le sel de déneigement: ce phénomène bien connu entraîne une chute de température très forte lorsque l'on épand du sel sur de la glace. Dans les premiers millimètres du support, ce refroidissement peut atteindre jusqu'à 12 °C en l'espace d'une minute. Ce refroidissement très rapide de la surface entraîne de considérables contraintes superficielles. Un béton gélif soumis à de telles conditions se fissure et s'épauffre, ce qui conduit à une destruction de la surface du béton. Cette destruction se répète à chaque salage. On constate que le revêtement routier protège le béton se trouvant au-dessous contre ce choc thermique; par contre, celui-ci agit avec une très grande intensité sur le béton des bordures et des parapets, même à travers une protection étanche (fig. 4).

Dégâts provenant de l'incompatibilité des divers matériaux

Influences du béton sur l'étanchéité

- La fissuration peut déchirer l'étanchéité.
- Les composants alcalins peuvent produire une saponification de l'étanchéité, spécialement dans le cas de celles qui sont composées de polyuréthane et de dispersions.
- Les adjuvants ont souvent les mêmes caractéristiques que le sel et sont hygroscopiques. Ils peuvent causer des dégâts au béton ou à l'étanchéité par pression osmotique.
- Les protections contre la dessiccation peuvent entraîner des problèmes d'adhérence de l'étanchéité, si elles n'ont pu être enlevées avant la pose de celle-ci.

Influences de l'étanchéité sur le béton

- Ses composants chimiques peuvent attaquer le béton.
- Lors de la pose de certaines étanchéités, la température élevée peut endommager le béton.
- Les grandes variations de dimensions de l'étanchéité dues aux variations de la température provoquent une fissuration ou une détérioration du béton ou de l'étanchéité elle-même (ce phénomène est particulièrement marqué pour les produits à



Fig. 4. — Béton désagrégé par le choc de température provenant du sel de déneigement. On remarque très bien la différence entre le béton de la surface et celui du noyau. Une protection ne peut pas empêcher cette désagrégation.

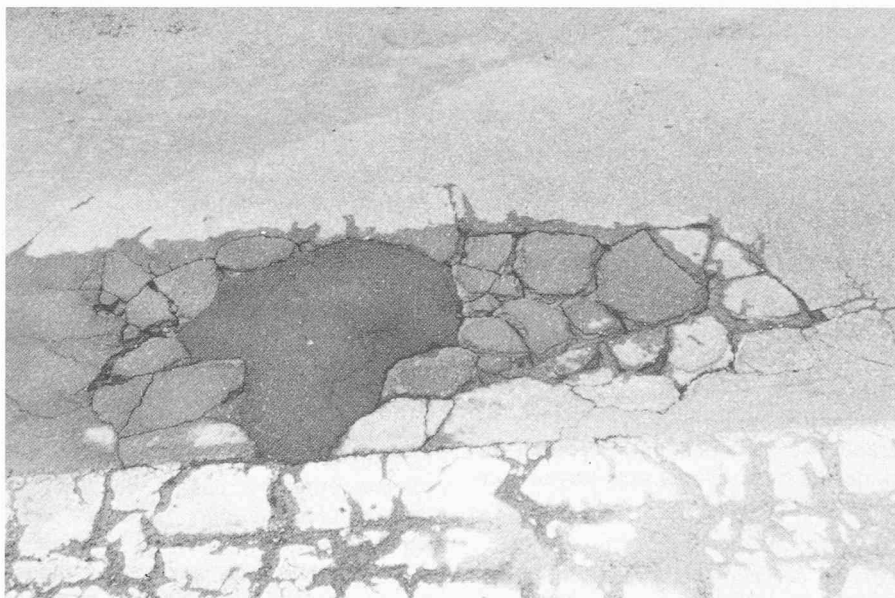


Fig. 5. — L'enrobé s'est désagrégé après quelques hivers, le support sur lequel il se trouve étant trop flexible (tendre).

base de résines synthétiques trop dures).

Influences de l'étanchéité sur le revêtement

- Les composants volatils, tels que les plastifiants, protections contre le vieillissement, aromates, peuvent pénétrer dans le revêtement et dissoudre les bitumes.
- Une étanchéité de grande épaisseur, relativement tendre, peut fournir un support dont la portance est insuffisante pour le revêtement, ce qui désagrège celui-ci, spécialement en hiver (fig. 5 et 6).
- Les bulles apparaissant entre le béton et l'étanchéité peuvent agir sur le revêtement et le fissurer (fig. 7).
- Les recouvrements entre les lés des étanchéités constituées de feuilles



Fig. 6. — Ce revêtement d'asphalte coulé s'est désagrégé après un hiver seulement, l'étanchéité étant épaisse et trop tendre.

peuvent causer un compactage différentiel du revêtement lors du cylindrage (spécialement avec les enrobés), mais aussi blesser l'étanchéité des joints par des pressions locales excessives (fig. 8).

- L'enrobé contient un pourcentage de vide d'environ 5%.

Influences du revêtement sur l'étanchéité

- La chaleur dégagée par la pose peut brûler, fondre ou ramollir l'étanchéité.
- Ses composants chimiques peuvent attaquer l'étanchéité, qui se ramollit ou devient cassante.
- Un mouvement du revêtement peut provoquer un déchirement ou un décollement de l'étanchéité.
- Si l'étanchéité adhère mal au béton, le cylindrage peut provoquer des plis, des trous ou un déchirement de celle-ci (fig. 3).
- Des décollements sont possibles entre l'étanchéité et le béton, entre le revêtement et l'étanchéité ou éventuellement entre les différentes couches de chaque matériau de base. On ne devrait en principe pas utiliser de rouleaux vibrants sur les ponts (à cause des oscillations), mais seulement des rouleaux compresseurs lourds.

Défauts de fabrication des matériaux

Aussi bien le choix que la qualité des matériaux de base utilisés, ainsi que la mise en œuvre lors de la fabrication du produit final peuvent être source de dégâts. On peut citer:

- la qualité du béton, des adjuvants, du compactage, du traitement de la surface,
- l'utilisation de produits de qualité inférieure (bon marché) pour l'étanchéité,
- le malaxage du revêtement, la surchauffe de celui-ci.

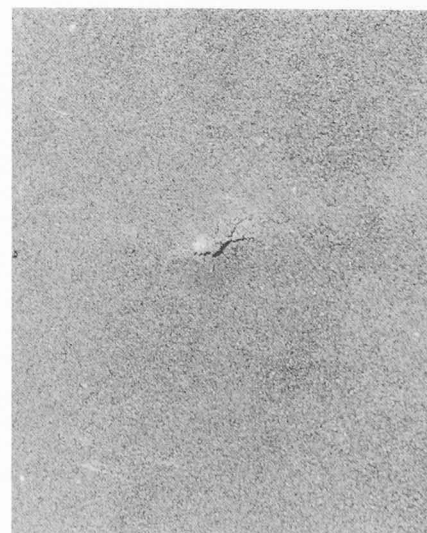


Fig. 7. — Les bulles apparues sous l'étanchéité ont aussi détérioré l'enrobé.



Fig. 8. — Les joints entre des feuilles à base de bitume modifié forment une retenue d'eau qui reste dans les pores de l'enrobé.

4. Leçons à tirer des dégâts — fonctions d'une étanchéité de pont

Protection

L'étanchéité doit protéger le béton et l'armature de l'eau de pluie ou de l'eau salée, de la benzine, de l'huile ou des produits chimiques (provenant de véhicules défectueux).

Adhérence

L'étanchéité doit absolument adhérer fortement au béton et offrir au revêtement routier un support permettant une transmission des efforts horizontaux (sécurité au cisaillement).

Résistance

L'étanchéité elle-même doit résister

- à la pression de vapeur provenant du béton du tablier,
- à la température de pose du revêtement routier,
- aux influences chimiques du revêtement et du béton,
- aux variations de températures et aux intempéries,
- au sel, à l'eau, aux produits chimiques,
- au vieillissement.

Adaptation

L'étanchéité doit s'adapter

- aux irrégularités de la surface du béton. En particulier après le nettoyage à l'eau sous très haute pression, la surface du béton peut devenir rugueuse et l'étanchéité doit pouvoir épouser toutes ces formes,
- aux variations de dimensions du béton provenant des changements de température, sans pour autant provoquer de contraintes,
- à tous les raccords, aux bordures, aux joints de dilatation, aux écoulements d'eau, etc...
- absolument « pointer » élastiquement les fissures.

Caractéristiques à respecter

L'étanchéité doit posséder des propriétés bien spécifiques.

Le choix des caractéristiques suivantes est très important, soit:

- l'épaisseur,
- l'élasticité,
- la dureté,
- la résistance à la rupture,
- la résistance à la déchirure,
- l'adhérence au support.

On ne devrait pas, par exemple, avoir une épaisseur et une élasticité trop grandes et en même temps une dureté trop faible. En effet, en hiver le revêtement devient cassant et il se désagrège si le support est trop tendre. Au contraire, un revêtement placé sur un support plastique et mou « flotterait » en été (fig. 5 et 6).

Facilité de pose

La pose de l'étanchéité doit être une opération simple à réaliser.

L'entreprise doit pouvoir étancher de grandes surfaces pendant les courtes périodes de beau temps, sans travaux annexes compliqués.

Commercialisation

Le coût de l'étanchéité représente quelques pourcents du montant global de l'ouvrage.

Lors du choix d'un système d'étanchéité, il ne faudrait pas tenir uniquement compte du prix payé lors de la construction, mais aussi comparer d'autres données importantes telles que le coût d'entretien, la durée de la vie, les aptitudes techniques.

Résumé

Si le béton résistait à l'eau, au sel, à la fissuration, à l'usure, etc... on pourrait somme toute rouler sur le tablier du pont. Ceci n'étant a priori pas possible, le béton doit être protégé.

Etant donné qu'il n'existe pas d'étanchéité carrossable ou de revêtement routier étanche et possédant toutes les propriétés énumérées ci-dessus, il est donc normal de séparer les fonctions.

Pour résoudre ce problème, la meilleure solution consiste à utiliser une étanchéité qui remplisse toutes les exigences décrites ci-dessus et un revêtement routier qui assume ses fonctions princi-

pales, soit: résistance à l'usure, surface antidérapante et longue durée de vie.

Actuellement, l'asphalte coulé remplit ces exigences au mieux: il est très compact et résiste bien à l'usure. Il s'adapte au support sans être cylindré (excluant par là les dommages de compactage). Il ne se remplit pas d'eau de pluie ou de saumure, car il ne contient pratiquement pas de vides. Nous n'avons plus qu'à trouver l'étanchéité appropriée, qui supporte avant tout la chaleur de pose élevée de l'asphalte coulé et offre une adhérence parfaite à celui-ci.

Toutes les conditions énumérées ci-dessus et que doit remplir une étanchéité de pont nous conduisent aux caractéristiques du néoprène, utilisé dans le système d'étanchéité de notre entreprise, l'*Ejkaprène*[®] (le néoprène fait encore actuellement ses preuves après cinquante ans d'utilisation dans divers domaines).

5. Recherche et résultats des essais

Notre entreprise utilise depuis plus de vingt ans des produits liquides à base de néoprène sur les toitures plates et les constructions souterraines.

Il était donc normal que, vu les propriétés de ces produits, ils soient essayés comme étanchéités de ponts.

En même temps que furent réalisés les premiers petits ouvrages, des essais ont été entrepris depuis 1973 au laboratoire fédéral d'essais de matériaux de Dubendorf (LFEM-EMPA). Vu les exigences beaucoup plus élevées qui sont en vigueur actuellement à l'étranger pour les étanchéités de ponts, notre entreprise a étendu ses essais aux laboratoires de recherche étrangers, tels que le MA 39 à Vienne et le laboratoire d'essais de matériaux de Berlin (BAM).¹

L'interprétation des essais académiques ne devrait jamais être faite en tenant compte des seules valeurs absolues, mais toujours en relation avec l'ensemble. C'est la raison pour laquelle, lors de nos essais récents, nous avons effectué les tests avec des conditions proches de la réalité. Ces méthodes d'essais furent en partie reprises par le BAM dans la nouvelle réglementation pour les essais des étanchéités de ponts.

Les sollicitations très différentes que subissent les étanchéités situées sous le revêtement routier et les protections des parapets et bordures nous ont conduit à développer plusieurs produits.

Analyse des résultats

L'aptitude à « pointer » les fissures, la résistance à la chaleur de pose de l'asphalte coulé, la résistance au cisail-

¹ Après 4 ans d'essais en laboratoire et sur le chantier, l'*Ejkaprène* amélioré *Ejkaprène S 3* fut choisi en 1978 comme étant le plus apte à l'étanchéité des ponts dans la pratique et il a été utilisé depuis avec succès sur plus de 100 000 m² de surface.

TABLEAU I

Résumé des essais basés sur la théorie pour l'étanchéité située sous le revêtement routier²

N° d'essai	Désignation	Description de l'essai	Résultats
EMPA 29 352	Simulation de la pose de l'asphalte coulé.	Trempe de l'échantillon dans de l'huile de silicone à une température de 220 °C.	Raccourcissement après 10 min.: 0,86%.
EMPA 30 653	Absorption de sel.	Stockage de l'échantillon dans une solution saturée de sel de cuisine.	Diminution de poids après 32 semaines: 0,3%.
EMPA 103 892	Diffusion de vapeur d'eau.	L'échantillon est placé soit au-dessus d'un récipient où l'humidité est de 100%, soit au-dessus d'un récipient où l'humidité est voisine de 0%.	Facteur de diffusion de vapeur: $KD = 0,0025 \text{ g/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mm Hg}$.
EMPA 32 885/1 + 2	Adhérence au béton.	Une plaquette de $2 \times 2 \text{ cm}$ est collée sur l'étanchéité. On tire sur cette plaquette jusqu'à arrachement.	Adhérence au béton: au-dessus de 35 à 50 kg/cm ² , rupture dans l'étanchéité. Lorsque l'on a des valeurs inférieures, rupture dans le béton.
BAM 2.33/18571/1	Coefficient de diffusion de vapeur d'eau. Résistance au sel.	Conservation de l'échantillon dans une solution d'eau salée concentrée.	$\Delta = 13,1 \cdot 10^{-9} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa}$. Après une durée de 14 jours, on ne constate pas de changement notable de la résistance à la déchirure ni de l'allongement de rupture.
	Compatibilité avec les bitumes.	L'échantillon est conservé dans un mélange de bitume à une température de 70 °C.	Après 14 jours, l'allongement sous charge statique de 2,5 kg diminue et passe de 102% à 55%.
	Résistance à la chaleur.	L'échantillon est placé dans une atmosphère d'azote à 240 °C.	Après une durée de 15 min., l'allongement sous charge statique de 2,5 kg diminue et passe de 102% à 55%.
EMPA 37 301/1 + 2 EMPA 23 0856	Vieillessement artificiel.	L'échantillon est soumis aux intempéries dans une installation Xenotest. Il est ensuite soumis aux influences de micro-organismes actifs.	L'allongement de rupture diminue et passe de 580% à 380% après 1000 h. de Xenotest et à 400% après 5000 h. de micro-organismes actifs. La résistance à la déchirure passe de 47 kg/cm ² à 48 kg/cm ² avec une légère diminution de la brillance après 1000 h. de Xenotest et à 44 kg/cm ² sans changement visibles et une perte de 2% de poids sous l'influence de 5000 h. de micro-organismes actifs.

² Ces essais ont été réalisés avec des échantillons d'étanchéité néoprène du type *Efkaprène*.

ment et au glissement, l'adhérence au béton, ainsi que les propriétés adhésives pour le revêtement en asphalte coulé confèrent à ce système des avantages énormes et uniques à ce jour.

L'excellente étanchéité du béton avec le néoprène «ponte» aussi les fissures survenant après coup (fig. 14).

L'adhérence remarquable de l'asphalte coulé, qui ne peut ni glisser horizontalement, ni se décoller dans le sens vertical, puisqu'il est pratiquement fixé au support à chaque centimètre carré.

Les essais et tests ont été conduits parallèlement à l'utilisation pratique, ce qui a permis un développement rapide de la technique d'application et par conséquent un système d'étanchéité de ponts simple à mettre en œuvre.

La lecture et l'interprétation des résultats d'essais exigent un solide esprit critique pour ordonner correctement ceux-ci, dans le contexte général des valeurs. Un résultat peut entraîner la répétition d'un essai ou exiger qu'un autre soit entrepris pour approfondir ou cerner une donnée.

S'il résulte d'un essai qu'une propriété paraît bonne (par exemple grande diffu-

sion de vapeur), il faut absolument contrôler si cela ne crée pas un inconvénient (par exemple perméabilité au sel). D'un autre côté, un résultat paraissant défavorable peut être sans conséquences: par exemple la diminution de l'allongement de rupture de 580% à 380% pour une résistance à la rupture pratiquement inchangée de 48 kg/cm² (47 kg/cm²). L'allongement original de cet élastomère est tellement élevé que cette perte est insignifiante, d'autant plus que cet allongement de rupture ne peut pas diminuer beaucoup plus.

5. Solutions possibles au problème de l'étanchéité des ponts

Etanchéité de la surface du pont sous le revêtement

Les étanchéités utilisées actuellement sont pour la plupart à base de matériaux bitumineux, tels que par exemple:

1. l'asphalte coulé de 20 mm ou le mastic d'asphalte de 8-10 mm d'épaisseur;
2. les feuilles préfabriquées à base de

bitumes modifiés de 4-5 mm d'épaisseur collées à chaud;

3. les résines de goudron-époxy posées sous forme liquide en couches minces;
4. les mélanges tendres et semi-élastiques de polyuréthane-époxy mis en place sous forme liquide, de 4-7 mm d'épaisseur;
5. les feuilles sandwich faites d'époxy, de bitume ou d'autres matériaux mous, avec une feuille métallique incrustée, d'une épaisseur de 5-10 mm;
6. les élastomères posés sous forme liquide et vulcanisant à froid, d'une épaisseur de 1 mm environ.

Tous ces systèmes peuvent subir l'un ou l'autre des dommages décrits sous le chapitre «Dégâts». Les systèmes décrits sous chiffres 2-5 ci-dessus supportent parfois juste la chaleur de pose d'un revêtement en enrobé.

Les étanchéités posées sous forme liquide à base d'élastomère vulcanisant à froid peuvent aussi subir, lorsqu'elles sont utilisées sous un revêtement en enrobé, quelques dégâts, là où la surface du béton est trop irrégulière; ces dégâts

TABLEAU 2

Essais avec des sollicitations proches de la réalité pour l'étanchéité située sous le revêtement routier

N° d'essai	Désignation	Description de l'essai	Résultats
BAM 2.33/18571/1	Aptitude à « ponter » les fissures.	Une plaque de béton (30 × 20 × 4 cm) nettoyée à la brosse métallique est recouverte d'étanchéité (Efkaprène) de 1 mm d'épaisseur. a) l'échantillon est recouvert de 3 mm d'eau, conservé 16 h. à -15 °C, reçoit du sel de déneigement à raison de 90 g/m ² ; il est conservé durant 4 h. à -15 °C, et ensuite durant 4 h. à +20 °C. L'eau est enlevée. Le processus ci-dessus dure 24 h. et il est répété 25 fois. b) On pose 2 couches de 3 cm d'asphalte coulé (à 245 °C) sur l'échantillon précédent. c) En introduisant une sollicitation (moment de flexion négatif), on ouvre jusqu'à 2 mm les fissures du béton dans un laps de temps de 11 min. (ces fissures sont entaillées depuis dessous avant l'essai). On conserve l'échantillon à l'état fissuré sous de l'asphalte coulé durant 21 jours à 70 °C.	Après cette série d'épreuves, l'étanchéité se trouvant sur toutes les plaques était parfaitement intacte.
	Résistance au cisaillement.	Dallettes en béton de 3,5 cm d'épaisseur, étanchéité de 1 mm d'épaisseur et asphalte coulé de 6,5 cm d'épaisseur. Pour une température de 23 °C et un effort tranchant de 46,8 N/mm. Pour une température de 50 °C et un effort tranchant de 11,8 N/mm.	L'asphalte coulé a été cisailé, les granulés de caoutchouc s'étant dégagés de celui-ci. L'asphalte coulé s'est détaché et déformé à l'endroit de l'introduction de la force (point de fixation). L'étanchéité et les granulés de caoutchouc ont résisté sans dommage aux sollicitations dues à l'effort tranchant.
	Résistance à la chaleur et rugosité de surface.	Dallettes d'essais en béton préparées comme pour l'essai ci-dessus. Pour une température de la surface de l'asphalte coulé de 80 °C une pente longitudinale de 10%, une durée d'essai de 3 jours et sous un effort simulant une roue de véhicule de 2060 N.	L'on n'a constaté aucun glissement du revêtement d'asphalte sur l'étanchéité. La chaleur n'a donc causé aucun dommage à l'étanchéité qui est apte à résister aux conditions de pose de l'asphalte coulé. L'arrachement de l'asphalte coulé perpendiculairement à la surface de l'étanchéité après les essais exigea une très grande force, c'est-à-dire que l'asphalte coulé s'accrochait aux granulés de caoutchouc de l'étanchéité et lui donnait ainsi une très grande adhérence au décollement vertical.



Fig. 9. — Nettoyage à l'eau sous très haute pression de la surface du béton (750 bars).

sont provoqués par le glissement du revêtement lors du compactage. Une égalisation avec un mastic permettrait de supprimer les irrégularités mais renchérirait la construction sans augmenter la qualité du revêtement routier.

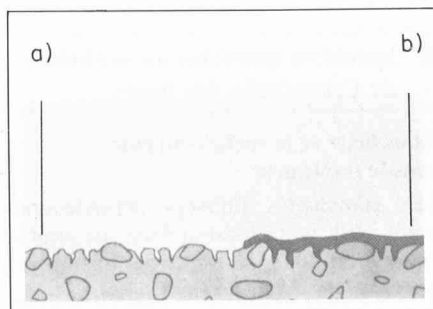


Fig. 10. — a) béton nettoyé au moyen du jet d'eau sous pression; b) le primer pénètre dans les pores du béton.

L'étanchéité de ponts néoprène système Efkaprène S 3

1. Surface du béton servant de support
Durant 4 ans, le système de nettoyage à l'eau sous très haute pression a été mis au point, tel qu'il est utilisé actuellement: (fig. 9)

— on obtient les meilleurs résultats de nettoyage avec une pression d'eau de 750 à 1000 bars.

— Le lait de ciment est arraché du noyau de béton et lavé.

Les pores du béton sont ouverts, contrairement aux autres systèmes de nettoyage où la poussière du béton est balayée puis chassée dans les pores du béton.

2. Couche d'accrochage

Dans les pores ouverts du béton sec, on fait pénétrer le primer au moyen

TABLEAU 3

Essais faits pour les revêtements de protection des parapets et bordures

N° d'essai	Désignation	Description de l'essai	Résultats
BAM 2.33/19051/1 + 2	Aptitude à « ponter » les fissures	Ces essais récents, destinés à tester l'aptitude à « ponter » des fissures, ont été entrepris au BAM dès mars 79 et furent passablement approfondis. Par rapport à l'essai BAM 2.33/18571/1 décrit au tableau 2, on a donné plus d'importance aux intempéries et au vieillissement. L'essai d'ouverture des fissures n'a été exécuté qu'avec des ouvertures de 0,2 mm, pour mille variations de charge à une température de -10°C; l'ouverture sous charge statique a été augmentée à 0,4-0,5 mm pour une température de 70°C pendant une semaine; les modèles ayant subi les essais d'intempéries ont aussi résisté aux essais de fissurations. Les essais d'arrachement donnèrent tous des valeurs d'environ 30 kg/cm^2 et le plan de rupture se trouva toujours dans le béton.	Ces séries d'essais ont été effectuées pour deux produits, soit l' <i>Efkaprène G</i> (clair) et l' <i>Efkalast 428/2</i> . Ces deux produits ont réussi les tests pour la protection des surfaces de béton non accessibles.

de rouleaux. Celui-ci s'infiltre de 1 à 3 mm environ dans le béton (là où il y a des fissures, l'infiltration est plus profonde que dans un béton très compact).

Dans le système *Efkaprène S 3*, le primer vulcanise aussi, ce qui protège la surface de l'eau de condensation et des composants alcalins du béton (protection contre la pénétration de l'eau et du gel).

Le primer agit comme une imprégnation, bouche les pores et les étanche contre l'eau salée.

Le primer constitue un ancrage de l'étanchéité au béton!

3. L'étanchéité proprement dite (fig. 11-12-13)

L'*Efkaprène S 3* est mélangé avec le vulcanisateur sur le chantier et peut être appliqué au moyen de rouleaux en peau de mouton sur le béton ayant déjà reçu le primer, ceci le même jour. On emploie 700 à 800 gr/m² et par couche. Après séchage de la première couche, on pose la couche suivante. Les diverses couches une fois vulcanisées forment une peau d'étanchéité en caoutchouc d'une épaisseur de 0,7 à 1 mm; ce monocouche est adhérent, élastique, résiste à l'entaille et « ponte » les fissures.

Nous avons toujours eu comme but de choisir les propriétés (allongement, résistance à la déchirure, résistance à l'entaille, adhérence et épaisseur), telles que si une fissure apparaît dans le béton, la résistance à la déchirure de l'étanchéité néoprène soit plus grande que son adhérence au support. Dans cette éventualité, l'étanchéité se décolle du béton de 1 mm de chaque côté de la fissure, et l'on a déjà à disposition 2 mm pour un allongement de x mm.

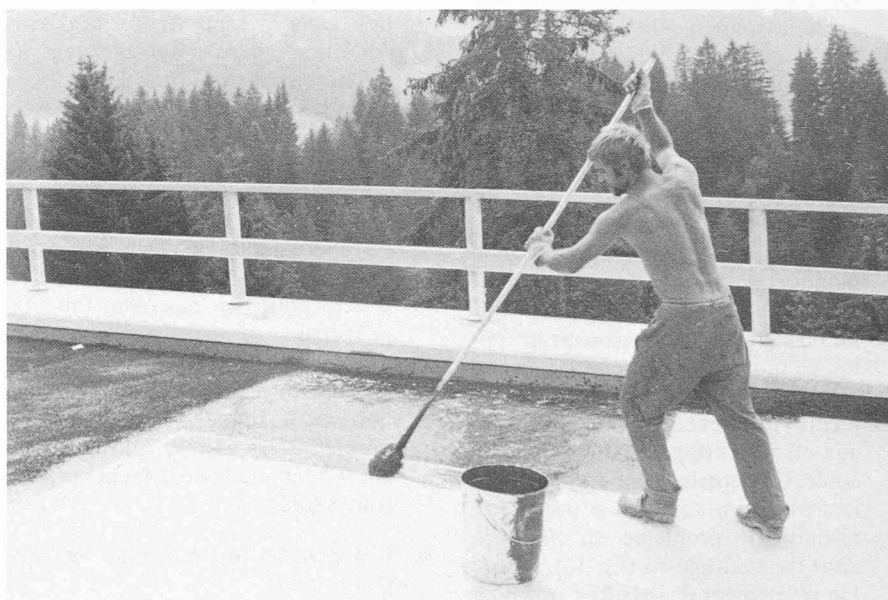


Fig. 11. — Pose manuelle de l'étanchéité néoprène (Efkaprène®).

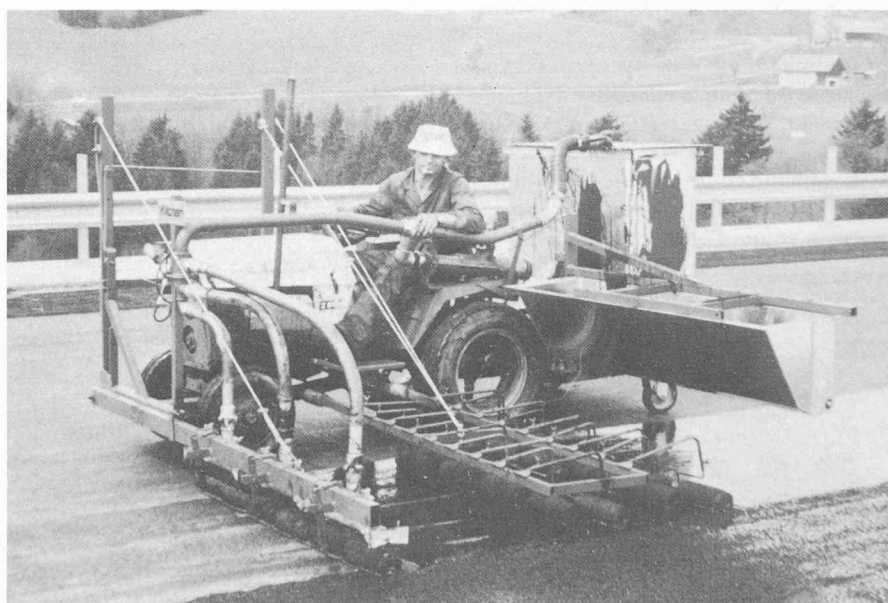


Fig. 12. — Pose de l'étanchéité néoprène avec une machine spéciale.

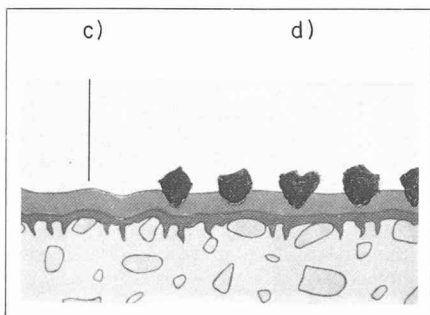


Fig. 13. — c) l'étanchéité néoprène s'adapte à la surface et adhère fortement au primer; d) les granules de caoutchouc servant de liaison pour le revêtement routier sont épanchés sur la dernière couche d'étanchéité néoprène.

L'adhérence reste cependant suffisante pour résister aux autres actions, telles que pression de vapeur, effort mécanique horizontal, etc... (fig. 14).

4. L'adhérence du revêtement

Des granules de caoutchouc de 4 à 5 mm sont épanchés régulièrement sur la dernière couche liquide et vulcanisent solidement avec celle-ci. La quantité de granules de caoutchouc a été déterminée par des essais. Ce qui fut utilisé au début comme protection de l'étanchéité s'est transformé en une liaison réelle et active (fig. 15).

La quantité de granules épanchés est telle que l'asphalte coulé ou l'enrobé plaquent sur la surface de l'étanchéité entre les granules.

Le revêtement s'accroche aux granules, ce qui confère à l'enrobé un ancrage aux efforts horizontaux et même un ancrage supplémentaire aux efforts verticaux pour l'asphalte coulé. Ce dernier point est même tellement important qu'il a permis de résoudre le problème du cloquage dans l'asphalte coulé (fig. 16).

Un revêtement d'asphalte coulé bien posé ne peut plus glisser sur l'étanchéité de pont néoprène et l'on ne constate plus l'apparition de cloques.

Depuis 4 ans, ce système d'étanchéité de ponts a été utilisé avec succès sur plus de 100 000 m² de surface.

L'asphalte coulé entoure les granules de caoutchouc (environ 1 grain par cm²), ce qui l'empêche de glisser la-

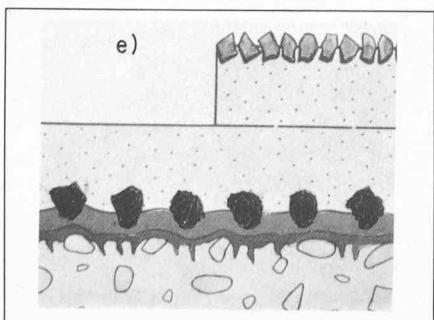


Fig. 16. — e) l'asphalte coulé s'accroche aux granules de caoutchouc.

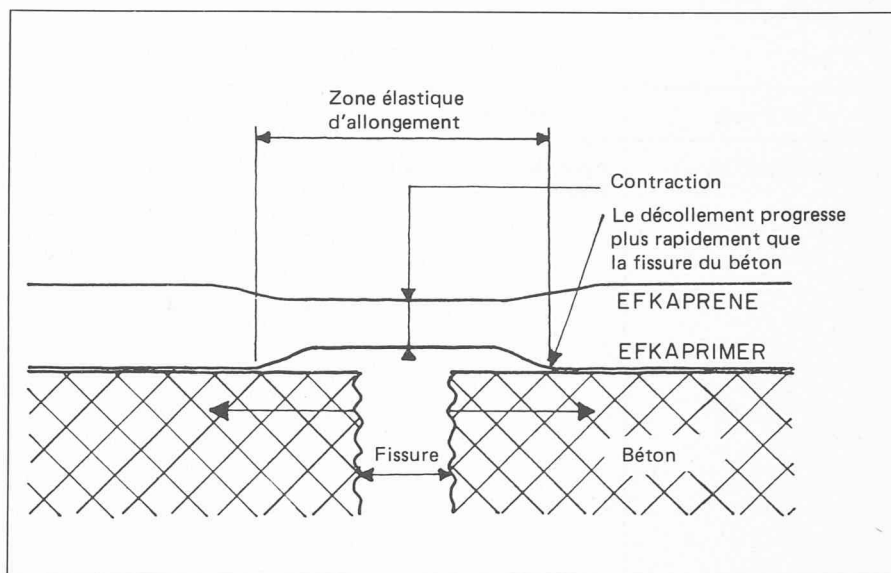


Fig. 14. — Représentation schématique du pontage d'une fissure.

téralement, si bien que l'asphalte coulé peut être considéré comme fixé complètement à la surface.

Les essais s'y rapportant sont décrits dans le chapitre « Recherche et résultats des essais ».

5. Le revêtement

L'asphalte coulé n'est plus utilisé en tant qu'étanchéité, fonction qu'il remplit difficilement (danger de fissures, possibilité de cheminement de l'eau sous l'asphalte), mais il est conçu pour sa nouvelle fonction principale: sa résistance au roulement et aux déformations.

La mise en place d'asphalte coulé relativement rigide a posé quelques problèmes au début, mais on peut considérer qu'actuellement ceux-ci sont résolus.

6. L'étanchéité au néoprène et l'asphalte coulé

C'est certainement le système *Néoprène-Asphalte coulé* qui offre les

meilleures propriétés actuellement. Les frais de construction de ce revêtement de ponts ne sont pas plus élevés, si l'on se base sur une comparaison réelle. En tout cas, ce système offre une solution à long terme avec une durée de vie bien supérieure à celles connues jusqu'à maintenant. La granulométrie de ce nouvel asphalte coulé, contient beaucoup de gravillons, résiste aux déformations et au roulement, et par conséquent aussi aux sollicitations extrêmes dues au trafic.

L'étanchéité au néoprène offre la meilleure sécurité d'adhérence et au cisaillement.

Elle peut aussi « ponter » les fissures du béton sous l'asphalte coulé.

Elle s'adapte à toutes les irrégularités du béton et offre une protection à toute épreuve contre l'eau provenant du sel de déneigement.

Son affaissement vertical est si faible que le revêtement ne se désagrège pas en hiver.



Fig. 15. — Epanchage à la machine des granules de caoutchouc servant de liaison avec le revêtement.

Protection des parties de béton du pont non carrossables

Actuellement, on utilise les méthodes de protection suivantes:

1. Résines à deux composants (UP-EP-Résines acryliques: pas de pontage des fissures, trop peu d'adaptation aux variations de températures, trop étanches à la vapeur d'eau).
2. Polyuréthanes (deviennent cassants, pas de «pontage» des fissures, résistance insuffisante à l'hydroxyde de calcium).
3. Elastomères (pour que l'aptitude à «ponter» les fissures soit suffisante, il faut bien calculer le rapport entre l'épaisseur de la protection, son élasticité, son adhérence et sa résistance à la déchirure).
4. Revêtements bitumineux (deviennent cassants, les couches se séparent, résistent mal aux intempéries).
5. Simples imprégnations (sont de moins en moins utilisés là où il y a du trafic automobile).

On peut faire les constatations générales suivantes:

une trop grande diffusion de vapeur permet aussi une pénétration du sel, et entraîne un décollement si l'adhérence du revêtement de protection est insuffisante.

Les surfaces de béton non carrossables d'un pont se dégradent beaucoup plus rapidement que les parties se trouvant sous le revêtement routier.

En effet, elles subissent les influences directes des intempéries:

- chaleur du soleil - pluie froide d'orage,
- glace - choc de température dû au sel de déneigement,
- blessures mécaniques de toutes sortes,
- rayons ultraviolets.

Le revêtement de protection subit une partie de ces actions néfastes qui pénètrent jusqu'au béton.

Cela signifie qu'un béton n'ayant pas une solidité et une résistance au gel suffisantes ne peut pas être protégé, spécialement contre les chocs thermiques, même par le meilleur des revêtements! Deux réflexions fondamentales au sujet du béton (voir fig. 4) en particulier en ce qui concerne le choc thermique dû aux sels de déneigement sont à relever.

Durant 7 ans d'observation, on a pu constater qu'un béton résistant au gel peut présenter une qualité de surface insuffisante.

Un béton non gélif, présentant une surface correcte et ayant une couverture de l'armature suffisante pourrait éventuellement n'avoir besoin d'aucune protection, si aucune fissure n'y apparaissait. Cependant, celles-ci sont inévitables, car les bordures (parapets) en béton sont généralement liées directement au pont: les variations de température dans

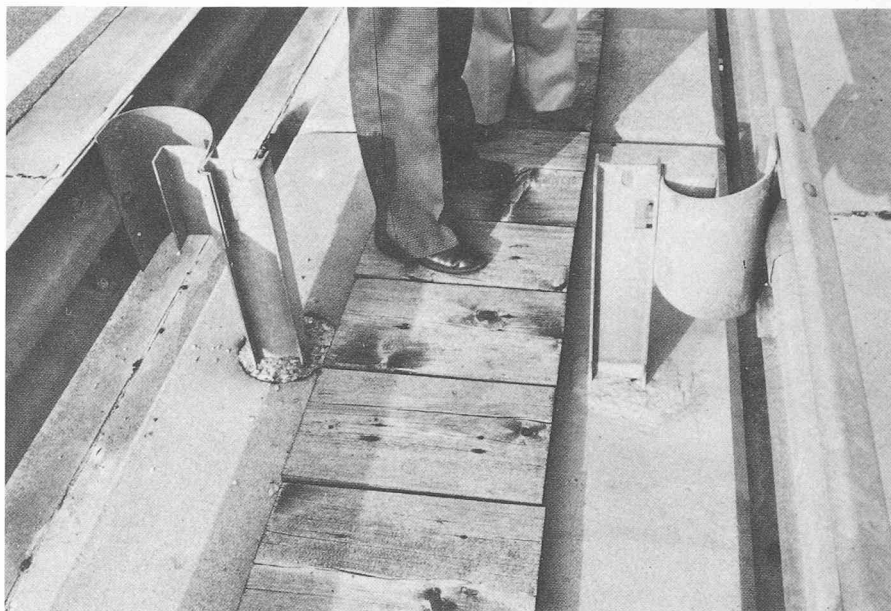


Fig. 17. — Les glissières de sécurité se trouvent au-dessus des bordures. Détail du poteau de droite: mise en service du pont en 1971. La protection du scellement du poteau fut posée en 1975, ce qui signifie qu'elle a été exposée au sel de déneigement durant 4 ans sans protection et durant 5 ans avec une protection. Exemple pris sur la N5 (photo 1980, protection Efkaprène).

le béton du pont sont beaucoup plus lentes et certainement différentes de celles du béton des bordures. Ce phénomène entraîne des variations différentielles de longueur entre les bordures et le pont et, par conséquent, une fissuration perpendiculaire à l'axe longitudinal du pont dans les bordures qui sont les éléments de plus faible inertie.

La pluie et la saumure pénètrent à travers ces fissures et attaquent les armatures.

Le travail de destruction commence, ce qui nous amène à la conclusion suivante:

«Ce sont les fissures du béton qui doivent absolument rester étanches!»

Protections de bordures de ponts en elastomère

1. Le support de béton

Le béton est nettoyé à l'eau sous très haute pression pour enlever le lait de ciment, comme pour le tablier. On utilise un mortier synthétique spécial pour boucher les gros trous. Ne pas mettre de couche de mortier de «rhabillage»!

2. Produit d'accrochage

Le primer est appliqué, éventuellement en 2 couches, dans les pores ouverts du béton sec. On utilise moins de primer sur les surfaces verticales que sur les surfaces horizontales.

3. Le revêtement de protection

Actuellement, deux produits sont utilisés et ont été mis au point dans nos laboratoires³.

³ Les dénominations sont les suivantes: 1) l'Efkaprène G, clair, à base de néoprène, semblable à l'Efkaprène S 3, posé sur le même primer; 2) l'Efkalast 428-2 appliqué sur un primer spécial et possédant une très grande résistance à la déchirure (250 kg/cm²).

Après la première couche et une période de séchage, on applique une deuxième ou plusieurs couches; le tout vulcanise pour former une peau d'elastomère, épaisse de 0,5 à 0,7 mm, résistante, élastique, qui résiste à l'entaille et «ponter» les fissures.

Les données concernant le «pontage» des fissures se trouvent au chapitre *Recherche et résultats d'essais*.

Il serait souhaitable que la couleur de la protection des bordures leur confère les mêmes propriétés de captage de chaleur que le revêtement routier voisin.

C'est avec un gris moyen que l'on obtient les températures les plus proches entre les bordures et le béton du pont.

Le blanc a tendance à rester trop froid, le noir à devenir trop chaud.

La formation de glace se produit plus tardivement sur les tons les plus foncés (à la suite de la transformation de lumière en chaleur). Ceci peut entraîner éventuellement comme conséquence une diminution des dommages dus au choc de température provoqué par le sel de déneigement.

La plupart du temps, les couleurs sont choisies pour leur aspect esthétique.

Il vaudrait peut-être la peine de faire des essais supplémentaires pour connaître l'influence pratique des couleurs claires.

Mesures importantes

1. Entretien

Une protection permettant de «ponter» les fissures doit rester élastique. Par contre, elle est sensible aux blessures mécaniques, spécialement

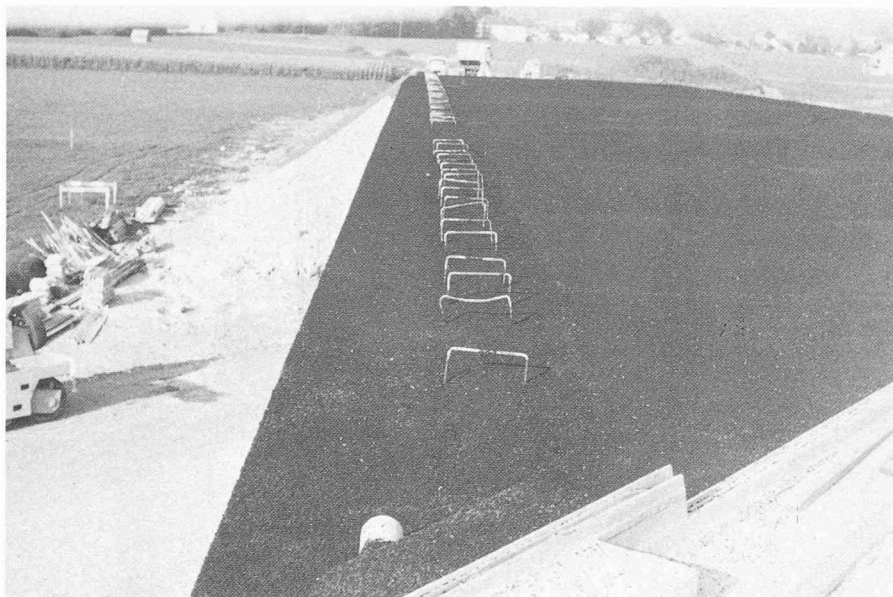


Fig. 18. — L'étanchéité de pont néoprène posée jusque sur les bords du pont. Les armatures d'attente permettent de fixer les bordures préfabriquées et le trottoir. Exemple sur la N12.

celles des machines d'entretien (chasse-neige, etc...)! Les protections ayant subi des blessures mécaniques doivent être réparées au printemps par le service d'entretien des routes!

2. Mesures relatives à la construction

— Si les glissières de sécurité peuvent déborder de la bordure vers l'intérieur, elles éviteront pratiquement toutes les blessures mécaniques dues aux chasse-neige et aux véhicules en panne (fig. 17).

— L'étanchéité de pont sera appliquée jusqu'au bord du tablier, y compris la retombée. La bordure sera alors posée comme élément de protection sur l'étanchéité (fig. 18).

Le cas échéant, on pourra la changer sans abîmer l'étanchéité.

Conclusions

Il nous paraît que le problème des étanchéités et revêtements de ponts est pratiquement résolu.

Pour pouvoir résoudre complètement le problème de la protection des bordures

Références bibliographiques

D^r B. HARNIC, *Gel - sel de déneigement - action sur le béton*, Zurich

Documentation SIA n° 23, journées d'études de septembre 1977 à l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne.

Nous avons en outre cité au chapitre « Recherche et résultats d'essais » divers rapports.

de ponts, il nous semble qu'il est encore nécessaire de procéder à des recherches. Celles-ci sont d'intérêt public, aussi sommes-nous d'avis qu'elles devraient être également financées par les institutions publiques.

Pour se faire une idée pratique, nous disposons de protections ayant été entretenues différemment, sur des ouvrages semblables, certaines ayant subi jusqu'à 7 hivers.

C'est la qualité du béton qui joue certainement le rôle prépondérant dans la conservation de ces éléments de construction.

Adresse des auteurs:

Friedrich Kilcher, ing. SIA
Wengisteinstr. 9A
4500 Soleure

Michel Fouvy, ing. EPFL-SIA
Rue du Temple 3
1096 Cully

Actualité

Installations génératrices de froid pour entrepôts frigorifiques en Arabie saoudite

La maison Sulzer a équipé d'installations génératrices de froid cinq entrepôts frigorifiques régionaux en Arabie saoudite. Les installations sont composées de 2, 3 ou 8 modules, selon la puissance frigorifique requise

dans les divers entrepôts. Chaque module contient trois groupes frigorifiques indépendants les uns des autres et comprenant chacun un compresseur avec le condenseur correspondant, refroidi à l'air. La livraison englobe également les refroidisseurs d'air (évaporateurs) installés séparément, ainsi que les accessoires correspondants tels que soupapes, appareils de réglage, instruments et tableaux de commande.

Ces nouvelles commandes sont dues aux bonnes expériences faites avec une installation frigo-

rifique livrée il y a deux ans par Sulzer pour l'entrepôt frigorifique central de la chaîne des supermarchés d'alimentation d'Arabie saoudite, de même qu'à la satisfaction que les commettants éprouvent à traiter avec Sulzer en tant que fournisseur.

En sa qualité d'entrepreneur général pour ces commandes, Sulzer a également assumé la responsabilité pour les constructions métalliques, les isolations préfabriquées et les groupes Diesel alternateurs avec les transformateurs et tous les autres équipements électriques et mécaniques. Sulzer a aussi été responsable des plans de fondation et de toute la supervision de la construction.

Catastrophe pour les oiseaux marins au large des côtes norvégiennes

Au tout début de l'année, 50 000 oiseaux sont probablement morts à cause de l'huile minérale relâchée par un pétrolier à l'extérieur du fjord d'Oslo. Le nombre élevé d'oiseaux ayant péri fait de cette catastrophe l'une des plus importantes ayant eu lieu le long des côtes norvégiennes. Presque tous les oiseaux ayant péri appartenaient à la famille

des Alcidae, des Uria Troile, des guillemots et des eiders. Un grand nombre d'oiseaux a été refoulé vers la terre, où on les a trouvés dans un état désespéré sur la plage, avant que la population locale ne les achève. On ne pouvait rien faire pour les sauver du pétrole, qui collait leurs plumes, détruisant ainsi leur pouvoir isolant et entraînant de ce fait leur mort soit par le froid soit par la noyade.

Les analyses des échantillons de pétrole provenant des oiseaux morts correspondent à celui du pétrolier grec m/s « Stylys » et semblent confirmer que le pétrole provient de ce bateau, qui avait quitté les eaux norvégiennes à la fin de l'année dernière. Le « Stylys » transportait un type de pétrole très particulier, ce qui a facilité les analyses. S'il y a poursuite judiciaire, elle devra être effectuée par les autorités grecques, puisque le « Stylys » se trouvait en zone internationale lorsque l'accident est survenu. D'après la juridiction grecque, on peut administrer des amendes allant jusqu'à 1,75 millions de francs suisses. Les autorités norvégiennes disent que les Grecs ont l'habitude de réagir promptement et de façon satisfaisante dans des cas semblables. (norinform)

