

Les chaussées de ponts - dégâts et réparations

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

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Ingénieurs et architectes suisses**

Band (Jahr): **109 (1983)**

Heft 25

PDF erstellt am: **29.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-75010>

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 chaussées de ponts — dégâts et réparations

par Friedrich Kilcher, Soleure et Michel Fouvy, Cully

L'usager de la route constate très souvent que le revêtement intact de la chaussée normale est subitement interrompu aux ponts par un revêtement réparé. Il doit y avoir une raison à cela! Ce rapport fait suite à celui traitant du sujet «Les étanchéités de ponts» (paru dans le n° 5 de la revue «Ingénieurs et architectes suisses» du 5 mars 1981). De nouveaux dégâts ayant fait l'objet d'expertises détaillées prouvent une fois de plus que la recherche de leurs causes est toujours laborieuse. Il semble rarement possible d'obtenir une expertise exhaustive, tout au plus peut-on faire faire diverses expertises selon les désirs de chaque partie concernée.

Pour éviter que les mêmes dégâts ne se reproduisent, il est toujours nécessaire d'en rechercher toutes les causes avec un souci d'objectivité très sérieux. Ce n'est qu'en fonction de leur parfaite connaissance que l'on peut alors déterminer les moyens d'y remédier durablement. Il ne sert en effet à rien de dissimuler et de réparer certains dégâts sans en connaître les causes, car ils ne manqueront pas de se répéter bien souvent.

Dans la plupart des cas, il n'est pas aisé de découvrir l'ordre dans lequel se produisent les dégâts, notamment lorsque le revêtement, l'étanchéité et le béton sont fortement endommagés. Il importe pourtant de connaître exactement ces renseignements afin d'éviter que les mêmes dommages ne se reproduisent.

Dans ce rapport, nous examinons en détail quelques cas frappants de dégâts rencontrés sur les ponts. C'est pourquoi nous commençons par énumérer tous les défauts importants, afin de pouvoir en supputer les conséquences possibles. En effet: «rars sont ceux qui connaissent bien leurs relations essentielles».

Introduction

Observations

La vue d'un revêtement de pont rénové est chose courante sur une route dont le revêtement initial de la chaussée adjacente au pont est encore intact. On poursuit sa route et l'on oublie ce que l'on a vu (fig. 1 et 2). On devient plus attentif toutefois lorsque certains tronçons de routes sont sans cesse barrés en raison de travaux de réparation.

Des dégâts surviennent plus fréquemment aux revêtements des ponts qu'à ceux des routes. On remplace en général le revêtement lorsque les dégâts visibles

en surface, provoqués par des fissures ou des ornières, ne permettent plus d'effectuer de simples réparations. Certains revêtements de ponts sont même changés tous les trois ans. Il semble donc impérieux d'entreprendre une recherche sur les causes de ces dégâts.

On prend rarement le temps de rechercher les causes des dommages que l'on rencontre sur les ponts lorsqu'il s'agit d'entreprendre des travaux de réparation importants, excepté pour les très vieux ponts. Il s'ensuit par conséquent une série d'échecs. Il vaut donc la peine d'examiner de manière approfondie les causes de ces dégâts et de les analyser jusque dans leur moindre détail sur un

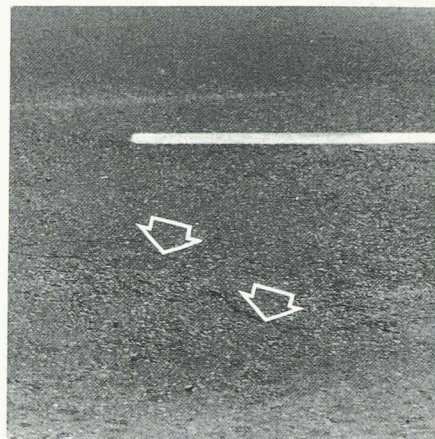


Fig. 2. — Premières fissures dans le revêtement d'un pont.

certain nombre d'ouvrages. Les connaissances qui en résulteront pourront être utiles lors de la construction d'autres ponts. Il n'est pas aisé de déterminer la cause d'un dégât à la seule vue de celui-ci. Le revêtement de pont est le même que celui de la route, où son comportement est généralement satisfaisant. La résistance du béton mesurée sur cubes n'est pas mise en cause non plus. Il reste par conséquent un bouc émissaire: l'étanchéité. Donc «ce qui est bon pour la route, n'est pas forcément adapté au pont».

On obtient des renseignements au moyen:

- «des dégâts récents», qui n'affectent pas encore toute la surface de roulement du pont;
- d'analyses approfondies de l'«apparition de nouveaux dégâts» à des ouvrages réparés;
- de la combinaison entre l'analyse comparative de l'image des dégâts et la chronologie des dommages survenus à différents ponts (fig. 3), ce qui permet de déterminer l'ordre dans lequel les dommages sont apparus et d'en rechercher les véritables causes.

Dégâts aux revêtements routiers

Les dégâts apparus aux revêtements de ponts peuvent être comparés à ceux des revêtements routiers. C'est la raison pour laquelle nous traitons d'abord ce sujet.

Les dommages que l'on rencontre sur les revêtements routiers sont très divers et bien connus des spécialistes [1]¹.

H. Grob les définit ainsi: «ceux qui apparaissent mal à propos, c'est-à-dire beaucoup trop tôt et nécessitent prématurément des réparations». M. Blumer cite comme sources de dégâts:

- le trafic lourd, pour une part: «... il faut 6500 automobiles pour exercer la même sollicitation qu'un véhicule à trois essieux, chargé, dont le poids total est de 25 tonnes». La sollicitation croît avec la puissance quatre de la charge par essieu (test routier

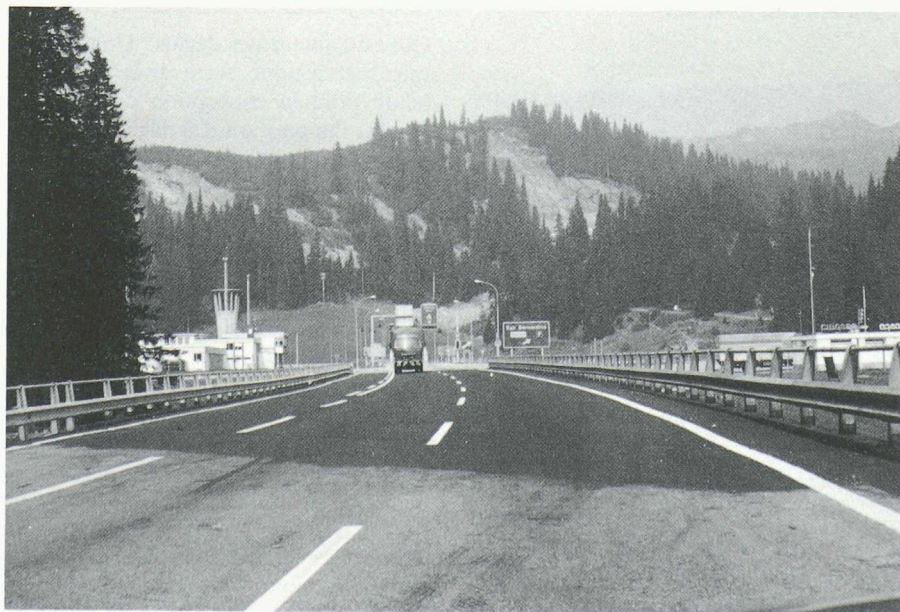


Fig. 1. — Pont ayant subi une réfection et chaussée intacte.

¹ Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie en fin d'article.

AASHO). Et il ajoute: «... il se produit une forte sollicitation à la déformation partout où les poids lourds ne peuvent rouler qu'à petite vitesse ou qu'ils doivent s'arrêter. Les longues rampes, les voies réservées aux véhicules lents sur les autoroutes, les courbes dont le rayon est petit, les carrefours et surtout les voies d'arrêt devant les feux de signalisation sont particulièrement sujets aux dégâts»;

- les influences climatiques: chaleur estivale, gel et dégel;
- les dégâts dus à plusieurs facteurs: tels que les fissures dans les revêtements minces et les ornières dans les revêtements épais.

ancien peut par conséquent donner de meilleurs résultats de compactage.

On constate souvent de gros dégâts juste à côté des joints de dilatation qui ne se trouvent pas au même niveau que la chaussée. Les vibrations du pont et des véhicules peuvent accélérer le rythme du «martelage». La dégradation, le tassement et le compactage local (et les inégalités qui en résultent) augmentent à nouveau l'effet des chocs et sont des phénomènes fréquents (fig. B2).

Il apparaît clairement que les premiers dégâts et les plus importants surviennent sur la bande de roulement empruntée par les poids lourds (fig. B1 et B2).

L'eau de pluie et de fonte traverse l'enrobé, mais ne peut s'écouler. Elle est contrainte de chercher un chemin jusqu'aux pipettes dans la couche inférieure du revêtement, cette progression étant rendue plus difficile à cause de l'irrégularité de compactage du revêtement et des inégalités du support.

Pose du revêtement sur les ponts (fig. 4 et A1)

La norme SNV pour les revêtements de ponts [2] donne des indications relatives aux exigences imposées en matière de revêtement, telles que par exemple:

- l'épaisseur minimale (9 cm);
- la précision lors de la pose;
- l'évacuation des eaux du revêtement;
- les raccordements de chaussée aux zones de transition.

Elle mentionne également les principales causes de dégâts et les «exigences à respecter pour diminuer autant que possible les dégâts», soit la perméabilité à l'eau, la sécurité du trafic, la stabilité, la résistance à la fissuration, la résistance à l'usure et la liaison entre couches. Malheureusement l'état des connaissances actuelles ne permet pas de donner les indications pour que les conditions énumérées ci-dessus puissent vraiment être remplies.

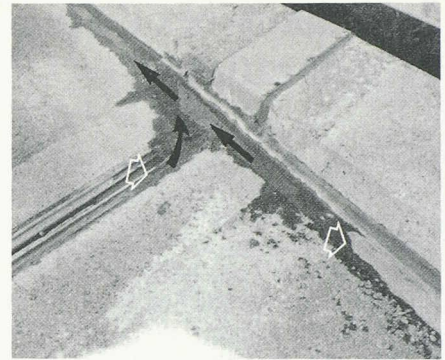


Fig. 4. — Joint de dilatation avec apparition d'eau sur le revêtement et aux raccords. Le raccord au joint de dilatation a déjà été réparé avec de l'asphalte coulé.

Le mélange de revêtement chaud est rapidement refroidi au contact du pont «froid» et de l'air «froid», et ne peut par conséquent plus être suffisamment compacté. (Un compactage optimal ne peut être obtenu que s'il a lieu dans une certaine fourchette de température.) Ainsi les parties de revêtement contenant un pourcentage de vides élevé se trouvent en surface et (dans les ponts en particulier) dans la zone en contact avec le tablier, respectivement avec l'éanchéité. En revanche, la couche intermédiaire se trouve être généralement bien compactée.

Il est déjà possible, par conséquent, de reconnaître les dangers qui menacent le tapis hydrocarboné du pont; notamment:

- eau dans la couche supérieure du revêtement;
- eau dans la couche inférieure du revêtement;
- lors de la première étape de pose, le bord libre est presque toujours moins bien compacté par le fait que le tapis hydrocarboné peut s'échapper latéralement sous la pression du rouleau.

Expertises

Qui est l'auteur des dégâts? Une comparaison statistique entre divers ponts en béton dont la conception constructive, l'âge et l'apparition des dégâts diffèrent, fournit d'importantes informations à ce sujet: le même objet peut être endommagé ou pas, sous l'effet de charges différentes dues au trafic (poids, vitesse ainsi que sollicitations de surfaces parallèles au pont dues à la pente, aux courbes, aux zones d'accélération et de freinage, etc.). Comme chacun peut s'en rendre compte, il faut posséder l'expérience de quelques ponts pour pouvoir tirer des conclusions de ces indications. Mais il faut avant tout énormément de temps pour faire une étude approfondie des corrélations possibles et pouvoir en déduire les causes. La rapidité de l'apparition des dommages dépend toujours de l'effet conjugué de deux ou plusieurs causes.

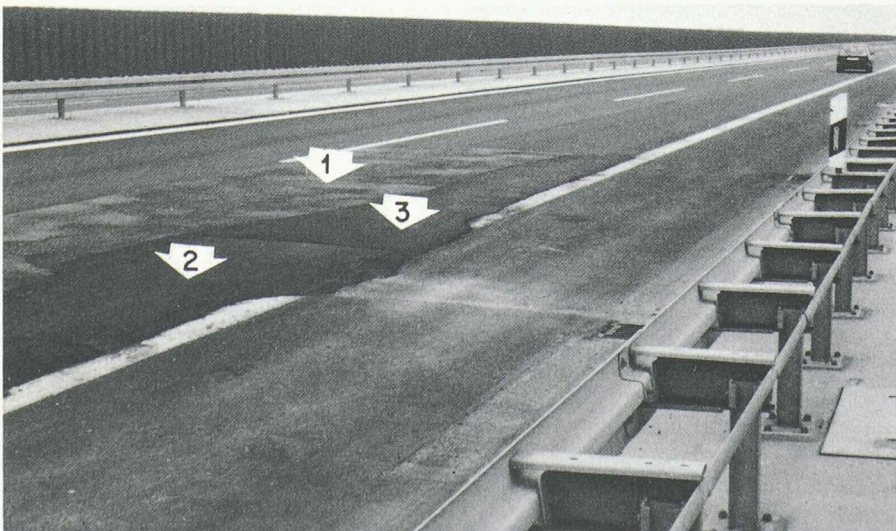


Fig. 3. — Tapis hydrocarboné récemment posé sur un viaduc d'autoroute. Cinq mois après sa mise en service, ce revêtement compte déjà trois «générations de réparations».

Indépendamment des causes propres des dégâts, la sollicitation due au trafic est responsable de la progression rapide de ceux-ci.

La combinaison des matériaux (revêtement, étanchéité et béton) revêt une très grande importance dans la fréquence des dégâts.

La situation microclimatique, et en particulier les conditions physiques de la construction, sont des causes de dégâts fréquemment méconnues.

Lorsqu'un dégât apparaît pendant la période de garantie et que l'on ne peut en définir clairement la cause, on fait appel à un expert, à moins que l'une des parties ne préfère le réparer rapidement, afin qu'il ne soit plus visible.

L'expert, les experts, «l'expert d'une partie»

Avec beaucoup de bonne volonté, on tombe d'accord pour désigner un seul expert ou un collège d'experts.

Très souvent, l'une des parties fait préalablement appel à un expert: dans ce cas, ce dernier est mis au courant par cette partie uniquement. En fonction de son appréciation, il devient alors «l'expert d'une partie» pour les autres intéressés. Une autre des parties cherche par conséquent son propre expert. Celui-ci établit la deuxième «expertise de partie», qui contredit naturellement la première expertise sur de nombreux points. Il reste une troisième partie qui doit faire publier son avis en réponse aux attaques des deux autres experts. Mais il lui faut aussi un expert, qui approuve certaines affirmations des deux précédentes expertises et qui en réfute de façon véhémement, ou plus précisément, qui doit en réfuter, certaines autres! Les conclusions des expertises tendent à faire supporter les frais de réparation aux autres. Elles ne servent en aucun cas à expliquer les véritables origines des dégâts.

Les pires résultats d'expertises sont souvent dus aux experts de partie, du fait que chacun de ces experts n'est informé qu'unilatéralement. La mission de l'expert d'une partie consiste souvent à décharger celle-ci de ses responsabilités.

Ayant abouti à un compromis discutable, il peut même arriver, le cas échéant, que par ignorance de leurs causes véritables, les mêmes dégâts réapparaissent, la réparation partielle n'ayant que retardé le phénomène.

Experts spécialistes

L'expert en revêtements routiers: il examine, entre autres, le pourcentage de vides, les quantités de liants, l'épaisseur des couches et le compactage (souvent sans pouvoir établir s'il s'est produit un compactage ultérieur dû au trafic...). Il compare l'état actuel avec les normes en vigueur.

L'expert en étanchéité: il examine les valeurs techniques de l'étanchéité (qui se-

rait demeurée intacte sans influence extérieure extraordinaire) et si elle devait révéler des défauts ou était endommagée dès sa mise en place, etc. Dans la plupart des cas, il n'est plus possible d'en fournir les preuves, raison pour laquelle on se contente d'affirmations.

L'expert en béton: il examine la qualité du béton sur la base de sa résistance à la compression sur cube ou le degré de destruction du béton sur la base d'essais sur échantillons prélevés sur place et d'images faites à partir de lames minces polies. Il contrôle également si le béton résiste au gel et au sel. Tous ces experts en matériaux ne se prononcent pas encore formellement sur l'origine du dégât, car les dégâts n'ont pas tous une cause unique et évidente.

L'expert en physique des constructions: on ne fait pratiquement jamais appel à un tel expert pour les dégâts rencontrés sur les ponts. (C'est en revanche le personnage principal pour les dégâts survenus aux bâtiments.) Cependant, la physique des constructions joue un rôle important, encore trop peu connu voire même inconnu, dans la construction des chaussées de ponts et de tunnels. La méconnaissance des influences exercées par la physique des constructions ne prouve nullement que ces influences n'existent pas. (Exemple C).

L'ingénieur en physique des constructions pourrait, par exemple, aussi remarquer des défauts constructifs dont la responsabilité incombe à l'entrepreneur ou à l'ingénieur.

Il manque encore un *coordinateur* pour les différentes expertises techniques. Tous les experts devraient en effet se rencontrer lors d'une séance de coordination avec des représentants techniques des différentes parties pour entreprendre, si besoin est, d'autres recherches permettant de faire toute la lumière sur les causes des dégâts. Mais en pratique, cette phase n'a lieu que très rarement.

L'expertise neutre

Le ou les experts sont choisis d'un commun accord. En présence de tous, chacune des parties intéressées peut faire part à l'expert des constatations faites à la vue de l'ouvrage endommagé ou à la suite de l'examen d'un prélèvement. L'expert procède à des prélèvements ou mandate éventuellement des spécialistes (experts techniques) pour prélever d'autres échantillons et donner leur avis. Hormis sa connaissance en la matière, cet expert doit posséder beaucoup d'expérience, de fantaisie et d'imagination pour pouvoir reconstituer une image à partir de toutes les informations éparses fournies par les résultats d'essais, les circonstances et les éléments, tels que le lieu, le moment et l'ordre dans lequel les dégâts sont apparus. (Deux propriétés de matériaux en contact l'un avec l'autre peuvent, par exemple, annuler

réciroquement l'effet qui provoque le dégât ou, au contraire, le cumuler et provoquer un dégât plus important.)

Conjointement à l'établissement de l'analyse de l'état existant, pour laquelle les experts habituels suivent généralement une liste de contrôle, il est possible de comparer différents états du béton et de l'étanchéité en tenant compte de l'ordre dans lequel les dégâts se sont produits sur le revêtement ainsi que des sollicitations dues au trafic. Les résultats obtenus de cette manière permettent de connaître les causes fondamentales des dégâts (fig. exemples B et C). C'est alors seulement qu'un projet de réparation réellement approprié peut être élaboré! Ce principe vaut aussi bien pour les réparations à effectuer pendant la période de garantie que pour celles qui doivent être faites sur des ouvrages anciens.

Analyse des dégâts au revêtement

Revêtement en tapis hydrocarboné (couche d'égalsation et couche d'usure)

Un mélange qui convient pour le revêtement d'une route accuse généralement une trop grande teneur en vides pour le revêtement d'un pont, car le compactage au moyen d'un rouleau vibrant n'est généralement pas possible sur les ponts. Le tapis hydrocarboné est compacté ultérieurement par le trafic, il est déplacé latéralement ou tout simplement «chassé» dans les irrégularités de la surface. Il en résulte un grand danger de blessures à l'étanchéité du pont, mais aussi au béton, comme nous le verrons par la suite.

La fine couche du revêtement de pont, mal compactée, soumise à une mauvaise répartition des charges ainsi qu'à des surcharges concentrées dues à l'accélération, au dérapage et au freinage sur le support, subit une usure plus rapide et sa durée de vie en est raccourcie. La trop grande teneur en vides du tapis hydrocarboné fait que ce dernier se remplit d'eau de pluie douce ou qui peut, d'après les récentes découvertes, même être acide. L'eau traverse le tapis hydrocarboné jusqu'à l'étanchéité du pont, s'écoule très lentement jusqu'aux pipettes sous le revêtement ou stagne dans les flaches du tablier. Lors de températures élevées, lorsque le liant bitumineux est ramolli, l'eau de pluie douce peut emporter le liant bitumineux du gravillon et le désenrober. Le gravillon est mis à nu et devient meuble. Le même phénomène se produit en hiver avec l'eau de fonte salée. L'eau qui gèle peut désagréger la structure du revêtement à la suite d'un gonflement causé par le gel.

Même pour une chaussée normale, l'ouverture de fouilles prouve constamment que les particules bitumineuses sont lavées par l'eau de pluie qui les charrie jusque dans l'encaissement.

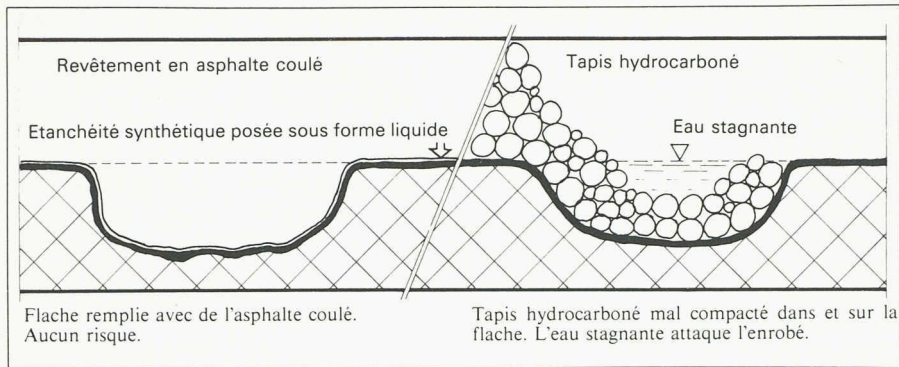


Fig. 5. — Influence des flaches du béton sur le revêtement.

Le cas des rigoles de ponts faites en enrobé et où le revêtement détérioré peut être ramassé à la pelle est également bien connu.

C'est incontestablement dans la couche directement en contact avec l'étanchéité du pont que l'enrobé, peu compacté, est le plus rapidement « désenrobé ». A chaque passage de véhicule, l'eau est « pompée » à travers les vides. C'est ce phénomène que l'on appelle « l'effet de machine à laver ». Le revêtement, ainsi désenrobé, se transforme en « jeu de quilles » et ne peut plus transmettre les charges auquel il est soumis à l'infrastructure. Il en résulte :

- des fissures visibles dans le revêtement, dues à des déplacements;
- des dégâts à l'étanchéité et au béton provoqués par un « martelage » des agrégats provenant du revêtement désagrégé.

La destruction du revêtement, de l'étanchéité et de la surface de béton du pont suit avec une rapidité en rapport direct avec les sollicitations dues au trafic.

Les premiers dégâts complets (revêtement, étanchéité et béton) apparaissent sur les bandes de roulement empruntées par le trafic lourd et plus particulièrement sur la voie qui subit le plus de charge (fig. B), en raison de la pente transversale et de l'inclinaison des véhicules. En outre, ils se produisent :

- là où il y a infiltration et concentration d'eau dans le revêtement (fig. 4 et A);
- dans les zones où le compactage du revêtement est insuffisant (par exemple, raccords entre pistes, inégalités du béton, raccords des lés d'étanchéité, etc.; fig. C6, C7 et A);
- lorsque le mélange est pauvre en bitume (dès le début ou en raison d'un désenrobage; fig. A3 et B3);
- avec les revêtements de type S, plus durs mais plus cassants, dont la résistance à l'usure est censée être supérieure (fig. B).

Les dégâts visibles sur le revêtement indiquent clairement qu'une zone de transfert de charge est déjà endommagée entre la couche d'usure et le tablier du pont, que ce défaut soit situé dans le revêtement, dans l'étanchéité, à la surface du tablier ou même à tous ces endroits à la fois. Une liaison insuffisante à l'intérieur du revêtement, entre la couche de support et la couche d'usure, peut aussi provoquer des dégâts (déplacement de la couche supérieure par rapport à la couche inférieure; fig. A4 et A5).

Revêtement en asphalte coulé

L'asphalte coulé est pratiquement exempt de vide et ne peut par conséquent pas, comme masse de revêtement, absorber d'eau. Les dégâts que l'on ren-

contre avec l'enrobé et que nous avons décrits ne se produisent pas (fig. 5). Posé dans les règles de l'art, l'asphalte coulé offre des avantages convaincants :

- pas de dégât d'eau au revêtement;
- pas de compactage, donc aucun dégâts consécutif à cette opération;
- pas de compression locale, parce que l'asphalte coulé s'adapte parfaitement et plastiquement au support;
- bonne transmission des efforts horizontaux;
- grande résistance à l'usure;
- l'épaisseur de la couche d'asphalte coulé peut être inférieure à celle de l'enrobé; ce qui diminue le poids propre de l'ouvrage sans perte de qualité;
- grande longévité, ce qui le rend économique;
- meilleure liaison aux joints de reprise;
- très bonne adhérence des véhicules au revêtement en asphalte coulé contenant du gros gravillon, même lorsqu'il est mouillé ou légèrement verglacé; moins de risque d'aquaplaning;
- pas de pénétration de l'eau de fonte salée dans le revêtement;
- un revêtement qui se différencie visuellement sur les ponts est certainement un avantage pour l'automobiliste et non un désavantage (en raison du danger de vent latéral, il faut souvent signaler les ponts par des manches à air), voir fig. 6.

Désavantages de l'asphalte coulé :

- température de pose plus élevée (env. 240 °C; limite fortement le nombre de systèmes d'étanchéité utilisables pour les ponts);
- frais de pose légèrement supérieurs (mais ils sont largement compensés par la plus grande longévité de l'asphalte coulé qui est, par conséquent, plus économique);
- utilisation de la méthode qui consiste à poser l'asphalte coulé librement (ce qui peut provoquer des cassures dans le revêtement; l'eau peut alors s'infiltrer entre le revêtement en asphalte coulé et le béton par les fissures et par les joints le long des bords. L'eau, additionnée de sel ou non, peut ainsi atteindre la surface du béton et y pénétrer. Les fissures dans le revêtement en asphalte coulé posé sur un support souple sont à imputer au frottement incontrôlable qui se produit lors du retrait de l'asphalte coulé lors de températures basses ainsi qu'au déplacement vertical du support, l'asphalte coulé étant froid et par là même, très cassant).

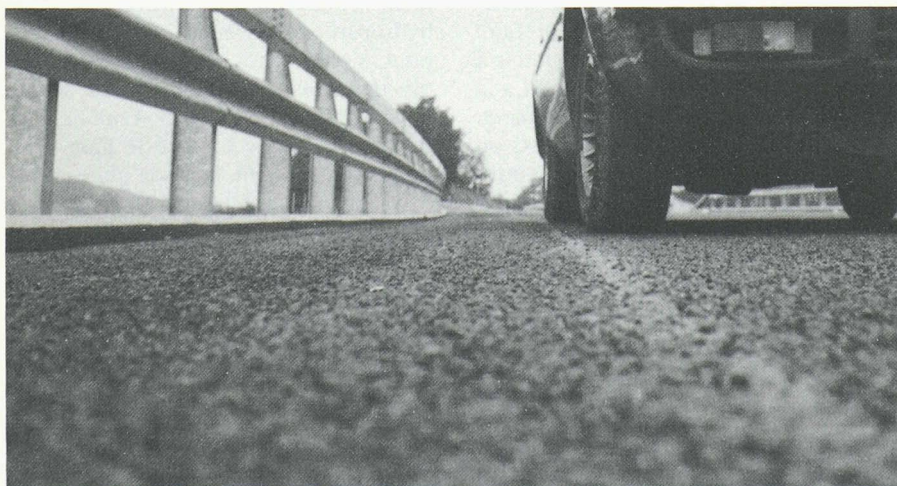


Fig. 6. — Revêtement de pont en asphalte coulé surfacé avec du gros gravillon, après cinq ans d'utilisation.

Influence de l'étanchéité de pont

L'étanchéité de pont peut subir des dommages causés par le revêtement ou

par le béton (voir ce qui précède et ce qui suit), ou être elle-même responsable de dégâts provoqués à ces matériaux voisins. Une étanchéité endommagée par le déplacement du revêtement ou les chocs transmis par celui-ci est perméable à l'eau salée. Celle-ci pénètre dans le béton et se répartit lentement en surface:

- en fonction de la qualité du béton, si l'adhérence de l'étanchéité est bonne;
- beaucoup plus rapidement entre l'étanchéité et le béton, en cas d'étanchéité flottante ou de faible adhérence.

L'eau infiltrée ne reprend pratiquement jamais le chemin par où elle a pénétré, mais elle s'accumule sous l'étanchéité ou s'écoule à travers le béton par une fissure.

Le choix des produits d'étanchéité a fortement diminué au cours de ces dernières années. Il semble que certains produits soient mieux compatibles avec les revêtements en enrobé mais pas avec ceux en asphalte coulé et vice versa.

Feuilles préfabriquées à base de bitumes modifiés

On utilise aujourd'hui encore des étanchéités à base de bitumes modifiés, avec ou sans feuille métallique.

Elles présentent pourtant les désavantages suivants:

- moins bonne résistance aux poussées latérales (tests de Marshall);
- grand risque de formation de cloques entre l'étanchéité et le béton (déjà avant la pose du revêtement);
- l'effet «de machine à laver» est moindre avec l'enrobé, parce que le bitume de l'étanchéité pénètre dans l'enrobé. Mais l'étanchéité s'en trouve alors affaiblie;
- incompatibles avec l'asphalte coulé.

De plus, les feuilles métalliques sont exposées au risque d'oxydation, car l'eau salée de déneigement trouve facilement accès au métal. Les étanchéités réalisées au moyen de feuilles métalliques ne parviennent pas à «ponter» les fissures, d'autant moins lorsqu'elles sont entièrement collées. (Des essais dans ce sens ont été réalisés par le laboratoire d'essais de matériaux de Berlin, BAM et présentés lors d'un congrès à Berlin le 20.4.1982).

Mastic

Le «mastic» peut présenter les mêmes risques que l'asphalte coulé flottant, notamment l'infiltration d'eau sous l'étanchéité. La couche de «mastic» molle et collante possède les mêmes caractéristiques que les feuilles préfabriquées à base de bitumes modifiés, posées à chaud: moindre résistance aux poussées latérales et problèmes de raccords.

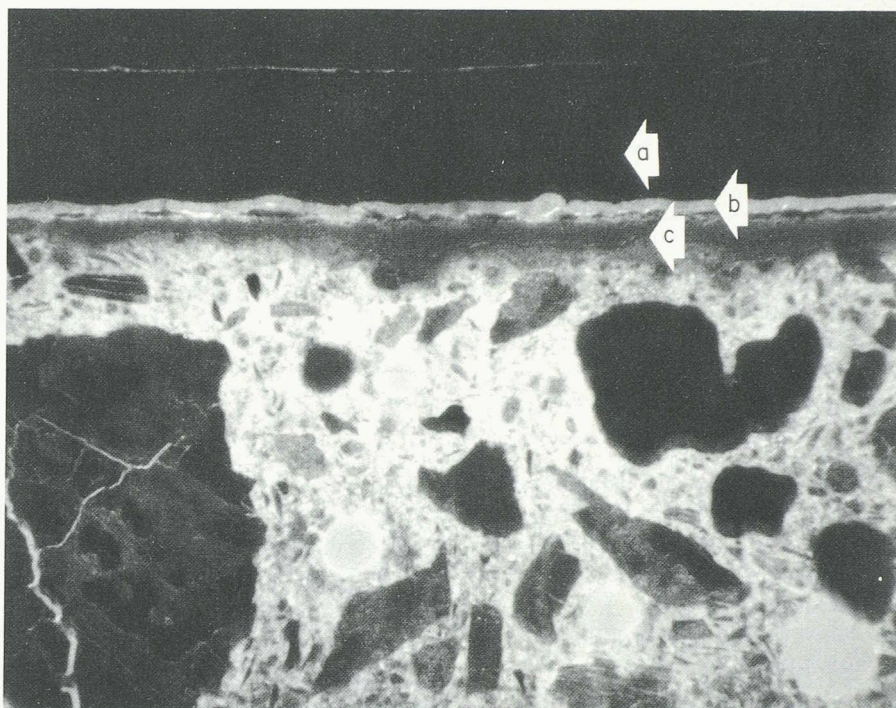


Fig. 7. — Echantillon de lame mince polie (échelle 50:1); a) étanchéité synthétique sous forme liquide à base d'élastomère; b) couche intermédiaire; c) primer dans la zone supérieure du béton.

(Photo: laboratoire LPM, Beinwil)

Elastomères synthétiques posés sous forme liquide et aptes à «ponter» les fissures

Compatibilité avec les revêtements

Pour pouvoir les utiliser en combinaison avec un tapis hydrocarboné, il faut auparavant poser une couche d'accrochage. On ne recommande l'utilisation de ce système que pour les ouvrages peu sollicités. L'étanchéité à base d'élastomère est particulièrement efficace lorsqu'elle est combinée avec un revêtement en asphalte coulé. Cette combinaison a même été présentée comme la «solution de l'avenir» par des spécialistes allemands lors d'un congrès à Berlin en 1982.

En Suisse, depuis 1976, le système d'étanchéité Efkaprène posé sous un revêtement en asphalte coulé a déjà été utilisé avec succès sur quelque 150 000 m² de surface.

Nous n'avons connaissance d'aucun dégât (en Suisse) aux étanchéités néoprène combinées avec un revêtement en asphalte coulé. Seules sont apparues jusqu'à ce jour, sur un pont, quelques cloques de la grosseur d'une main et dont la surface de décollement était très localisées entre l'asphalte coulé et l'étanchéité. Une extension de ce décollement n'a été possible qu'en chauffant l'asphalte et en le tirant avec grande force. Une salissure sur l'étanchéité a révélé la présence de taches d'huile certainement antérieures à la pose du revêtement et cause de ce manque d'adhérence.

Un deuxième problème de cloquage est apparu sur un trottoir dont le revêtement en asphalte coulé, d'une épaisseur de 2,5 cm, avait été posé à la main. En

découpant le revêtement, on a constaté qu'une fine couche d'asphalte collait à l'étanchéité et que la formation des cloques s'était par conséquent produite dans le revêtement en asphalte coulé. Pourtant l'asphalte coulé adjacent aux cloques n'a pu être détaché de l'étanchéité qu'au moyen d'un ciseau. Les méthodes d'application de l'étanchéité ont été fortement rationalisées au cours des ans. Deux produits de fabrication suisse sont actuellement à disposition:

- l'Efkaprène S3, un produit à deux composantes contenant des solvants, posé à froid;
- l'Efkaprène TM, un produit à deux composantes, sans solvant, giclé à chaud sur le béton.

Les essais sur échantillons prélevés sur place ont révélé une excellente adhérence de l'asphalte coulé sur l'Efkaprène et de ce dernier sur le béton (fig. 7).

Sources d'erreurs et leurs causes

La grande différence de compatibilité de l'étanchéité combinée avec les revêtements en asphalte coulé et les dégâts qu'elle subit avec les tapis hydrocarbonés, a semblé justifier une recherche fondamentale sur les revêtements en enrobé. Les résultats de cette recherche sont à la base de ce rapport.

L'examen des dégâts survenus à la combinaison étanchéité-enrobé a révélé que c'est l'enrobé qui est la principale source des défauts:

- en partie par manque de couche d'accrochage;
- risque d'endommagement lors du compactage.

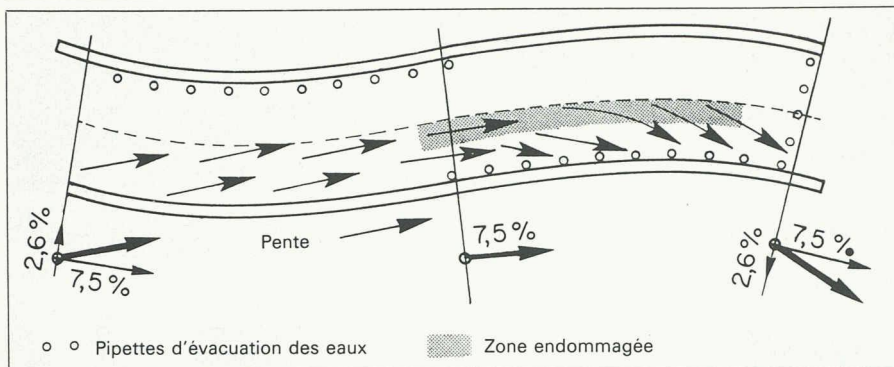


Fig. A1. — Représentation schématique de l'emplacement des pipettes et du sens d'écoulement de l'eau dans le revêtement.

Et dans deux cas les défauts provenaient de la construction en béton :

- dalle contenant des matériaux de remplissage en mousse synthétique (exemple G);
- caisson avec corps creux fermés (exemple C).

Rôle de la dalle en béton

Le béton n'est de loin pas sans jouer de rôle dans les dégâts provoqués au revêtement. Son influence a pu être mise en évidence dans le cadre de recherches personnelles effectuées au cours de ces deux dernières années.

La résistance propre du béton ne suffit pas ou plus à résister aux sollicitations croissantes du trafic.

Le béton peut, par exemple, avoir une bonne résistance à la compression sur cube mais *ne pas résister* pour autant au gel ou même au sel de déneigement.

Le sel peut pénétrer quelques centimètres sous la surface du béton (risque de rouille pour l'armature).

Le pont peut révéler des *défauts constructifs*. Dans certaines conditions de physique des constructions bien précises, de la vapeur d'eau peut pénétrer dans le béton depuis dessous, condenser et s'accumuler sous l'étanchéité, puis causer des dégâts de rouille et de gel. Même sans sel, ce phénomène peut entraîner de graves conséquences; de nombreux dégâts demeurés inexpliqués jusqu'à ce jour et qui sont apparus sur divers ouvrages d'art connus sont dus à cette même cause. La vapeur condensée est une eau douce qui attaque le squelette calcaire du béton. Cela affaiblit considérablement le béton sous l'étanchéité.

Il faut absolument éviter le phénomène de condensation de la vapeur d'eau! De nombreux cantons le connaissent depuis des années et l'ont résolu en prenant des *mesures spéciales d'aération*. Mais d'autres cantons l'ignorent encore résolument. S'agit-il d'un manque de communication entre cantons ou ne veut-on simplement rien se laisser dire?

La carbonatation, provenant du gaz carbonique contenu dans l'air, provoque une modification du pH de l'eau qui

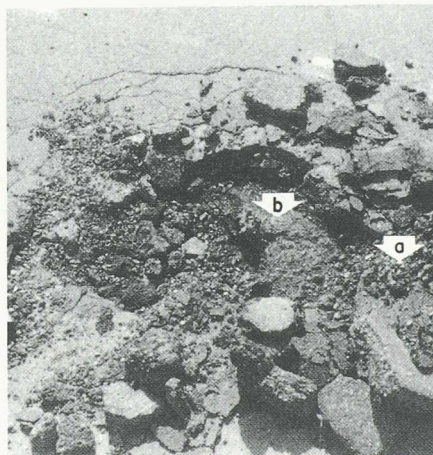


Fig. A3. — Revêtement démonté à l'endroit le plus endommagé; a) revêtement désenrobé et désagrégé et nombreux agrégats mis à nu; b) étanchéité à laquelle adhèrent des morceaux de béton. Béton endommagé.

passé de l'état alcalin (protégeant de la rouille) à celui d'acide. Si elle atteint les aciers d'armature, ceux-ci ne sont plus protégés contre la rouille et ils commencent à s'oxyder. Le gonflement de la rouille fait sauter la dalle de béton, ce qui accélère la destruction totale du pont.

L'eau de pluie, qui est connue aujourd'hui pour être acide et qui contient de l'acide sulfurique et des oxydes d'azote, cause encore plus rapidement de gros dégâts. Elle s'infiltre par les fissures jusqu'aux armatures en acier. Les constatations précédentes et les simples affirmations se trouvent vérifiées par les exemples décrits ci-après.

Exemples tirés de la pratique

Exemple A

Description de l'objet

Route cantonale, à grand trafic, altitude env. 1200 m, orientée au sud.

Pont décrivant une courbe en S avec une pente longitudinale de 7,5% et une pente latérale alternativement à gauche (amont) de 2,6% et à droite (aval) de 2,6%. Cinq ans d'âge. Les pipettes d'évacuation d'eau ont été posées sous le revêtement latéralement, au point bas de la pente transversale ainsi que devant le joint de dilatation aval.



Fig. A2. — Dégât au revêtement avec fissures du tapis hydrocarboné dues à la poussée. Les teneurs en vides de la partie du revêtement endommagé s'élevaient à: 5,1-7,5% (volume) dans la couche d'égalisation; 4,0-7,4% (volume) dans la couche d'usure. (La flèche indique l'endroit où l'on a prélevé un échantillon; cf. fig. A3.)

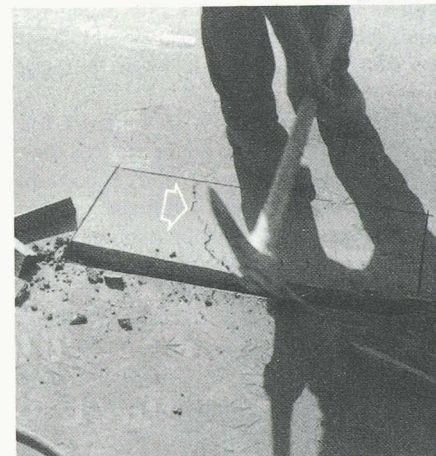


Fig. A4. — Prélèvement du revêtement fissuré transversalement: fissure visible dans la couche d'usure.

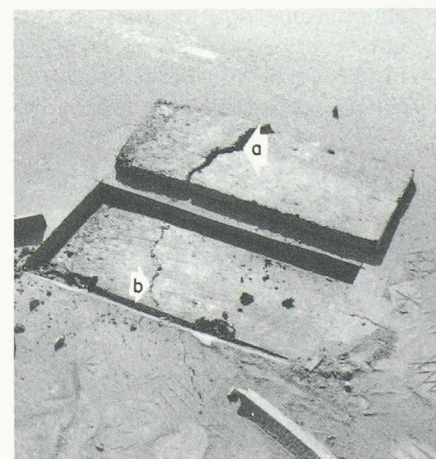


Fig. A5. — La couche d'usure a glissé sur la couche d'égalisation a), ce qui l'a fissurée. Sous la fissure b), il apparaît une crête de saleté sur la couche d'égalisation. Cette dernière n'a pu être enlevée qu'en morceaux. Un examen plus approfondi a révélé des décollements de l'étanchéité de la surface du béton.

Observations

Le tapis hydrocarboné est endommagé sur une bande d'un mètre de large à droite du joint de reprise central (voie aval) entre le milieu du pont et le joint de dilatation. Il s'agit du revêtement posé en première étape, qui est toujours moins bien compacté.

A l'examen du schéma A1, on constate que l'eau pénètre dans le revêtement du

côté droit (en amont) et qu'elle n'atteint jamais les pipettes situées de l'autre côté à cause de la forte pente longitudinale et du changement de la pente transversale. Elle chemine au milieu du pont, le long de la zone de revêtement plus compacte et ne parvient aux pipettes situées du côté droit qu'avant le joint de dilatation inférieur. Il s'en est suivi un désenrobage du revêtement plus faible du côté droit.

Réparation

Fraiser la surface jusqu'au béton demeuré sain, nettoyer à l'eau sous très haute pression, poser trois couches d'Efkaprène S3, une couche d'égaisation en asphalte coulé avec des drains disposés obliquement, puis une couche d'usure en enrobé.

Exemple B

Description de l'ouvrage

Pont sur une autoroute du Plateau, altitude env. 500 m. Deux ponts parallèles, la chaussée montante ayant une pente longitudinale de 2,4% et transversale de 2,5% en direction de la voie d'évitement, la chaussée descendante ayant une pente longitudinale de 3% et transversale de 2,5% en direction de la voie de dépassement.

Il a été posé un revêtement en enrobé de type S qui est très dur et cassant (mar-télé). A peine quatre ans d'âge.

Observations

Après trois ans, des dégâts visibles sont apparus au revêtement sous forme d'arrachement des agrégats (ceci sur la route hors du pont également). Les fissures du revêtement se sont produites uniquement sur les deux principales pistes de roulement et le long de la ligne la plus basse de la pente transversale du pont empruntée par les roues, c'est-à-dire à la montée le long de la voie d'évitement et à la descente le long de la voie de dépassement. La dégradation a commencé sous la roue la plus chargée des poids lourds (selon [1], la sollicitation croît avec la puissance 4 de la charge). Compaction et teneur en vides ont été mesurés et les résultats ne sont pas encore connus.

Là où le revêtement a une épaisseur de 11 cm il a subi de gros dégâts, alors que là où l'épaisseur est de 13 cm il n'en révèle encore point. Trois échantillons ont été prélevés sur le pont amont aux endroits suivants:

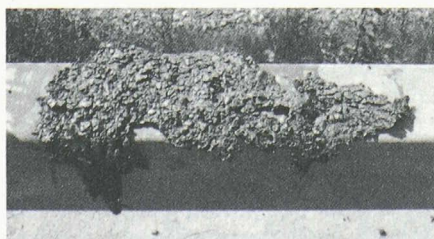


Fig. B5. — L'étanchéité qui a été enlevée, avec le béton qui y adhère (à l'envers).

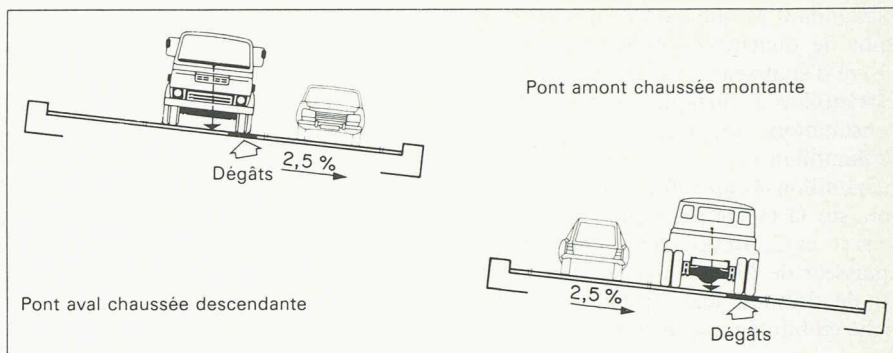


Fig. B1. — Coupe en travers schématique indiquant l'emplacement des dégâts. Les endroits endommagés (signalés par des flèches) se situent sous la roue supportant la charge maximale.



Fig. B2. — Vue en direction du joint de dilatation inférieur où un trou provoqué par des chocs a été réparé; l'échantillon 1 a été prélevé dans cette zone à l'avant de la réparation longitudinale du revêtement.



Fig. B3. — Echantillon 1: le revêtement en enrobé, d'une épaisseur totale de 11 cm, a sa couche inférieure désenrobée (a). Sur les faces de rupture, le bitume se détache du gravillon (b). L'étanchéité est recouverte de gravillon désenrobé et d'eau stagnante provenant du revêtement (c).

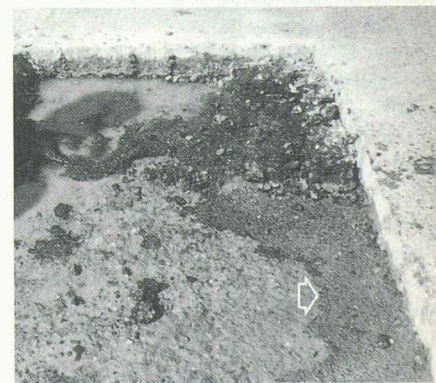


Fig. B4. — Echantillon 1: le revêtement a été enlevé. L'étanchéité se détache, avec une couche de béton qui lui adhère et qui mesure jusqu'à 8 mm d'épaisseur. Les bords droit et gauche de l'étanchéité adhèrent fermement au béton (flèche). Eau stagnante au point le plus bas.

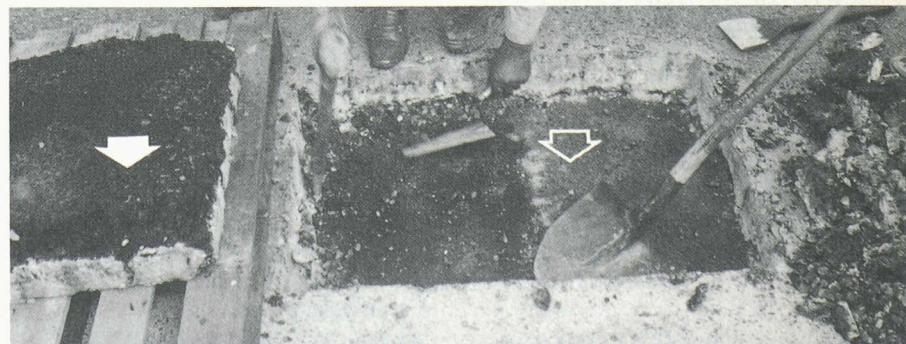


Fig. B6. — Echantillon 3: le revêtement peut pratiquement être enlevé en bloc et sans être endommagé (épaisseur 13 cm). Au-dessous, l'étanchéité est intacte. De plus, elle adhère encore fermement au béton. On ne constate aucun enduit d'accrochage entre l'étanchéité et le revêtement.

Echantillon 1: quelques mètres après le joint de dilatation: revêtement fissuré, 11 cm d'épaisseur.

Echantillon 2: quelque 20 m plus haut, constatation identique à celle de l'échantillon 1.

Echantillon 3: au milieu du pont environ, sur la même piste que les échantillons 1 et 2. Revêtement intact, d'une épaisseur de 13 cm. A peine désenrobé, vu de dessous, jugé optiquement plus riche en bitume que les échantillons 1 et 2.

Exemple C

Description de l'ouvrage

Pont à trois voies subissant un trafic intense de transport de gravier, situé juste avant un carrefour. Pente de 0,5% en direction du carrefour, pente transversale en toit d'env. 2%. 22 ans d'âge, béton contenant du sel, épaisseur du revêtement 6,5 cm (!).

Observations

Un béton de 22 ans d'âge, optiquement en bon état, sur lequel on a posé, après fraisage de la surface et nettoyage à l'eau sous très haute pression, une nouvelle étanchéité et un nouvel enrobé. Travail effectué en trois étapes au cours de l'été et de l'automne. L'hiver suivant, des dégâts sont apparus au revêtement, aux endroits les plus sollicités par le trafic, le long des joints de reprise et particulièrement à l'endroit de l'étape la plus ancienne, dont le revêtement est le moins bien compacté. L'été suivant, on a procédé à des prélèvements d'échantillons sous le revêtement endommagé, de même que sous celui qui paraissait visiblement intact. On a constaté avec surprise que le béton était fissuré parallèlement à l'étanchéité, sur toute sa surface et sur une profondeur de 1 à 5 mm. La destruction complète du revêtement sur tout le pont n'est donc plus qu'une question de temps et de sollicitations dues au trafic. Dans les zones où le trafic est le plus dense, l'étanchéité est réellement concassée entre le revêtement et le béton endommagé. L'étanchéité étant détruite, l'eau s'infiltre dans le béton et continue par conséquent son œuvre destructrice du béton et partant, de l'étanchéité et du revêtement (effet de machine à laver). Les figures C sont parfaitement éloquentes à ce sujet.

Causes

Comment a-t-on pu en arriver si rapidement à un pareil fiasco?

On n'a pas fait d'analyse de l'état du pont avant la réparation. Ce pont est composé de trois caissons longitudinaux, fermés par des couvercles. Au cours de l'hiver qui a suivi la pose du nouveau revêtement, on a mesuré la température et l'humidité dans deux des caissons. L'humidité relative atteignait jusqu'à 95% pour une température de l'air dans les caissons de -3° à -4°C .

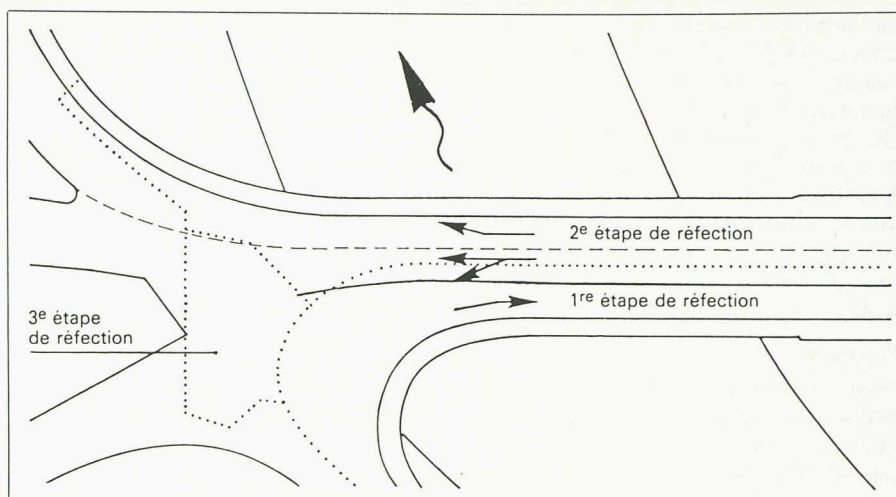


Fig. C1. — Plan schématique avec voies de circulation et charges dues au trafic: à gauche, transport lourd de gravier, au centre, trafic lourd avec arrêt avant le carrefour, à droite, voie empruntée par un trafic faible avec accès généralement libre vers la droite. Numérotation des étapes des travaux de réfection.

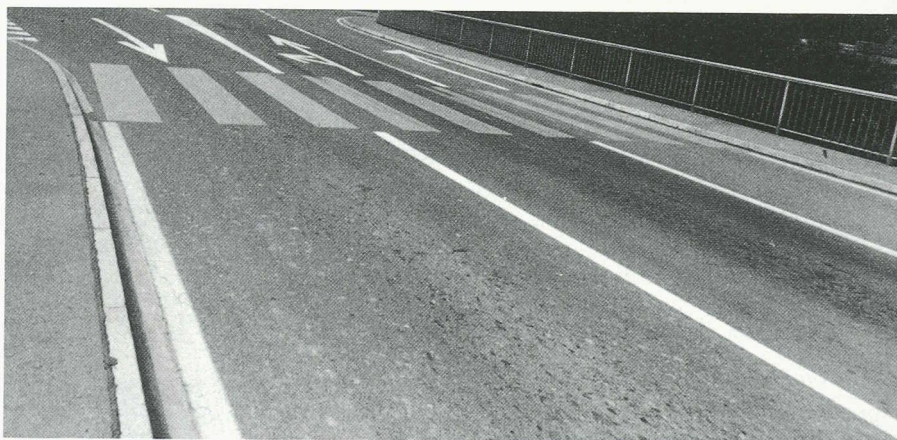


Fig. C2. — Vue d'ensemble en direction du carrefour. Cf. fig. C1 pour le commentaire.

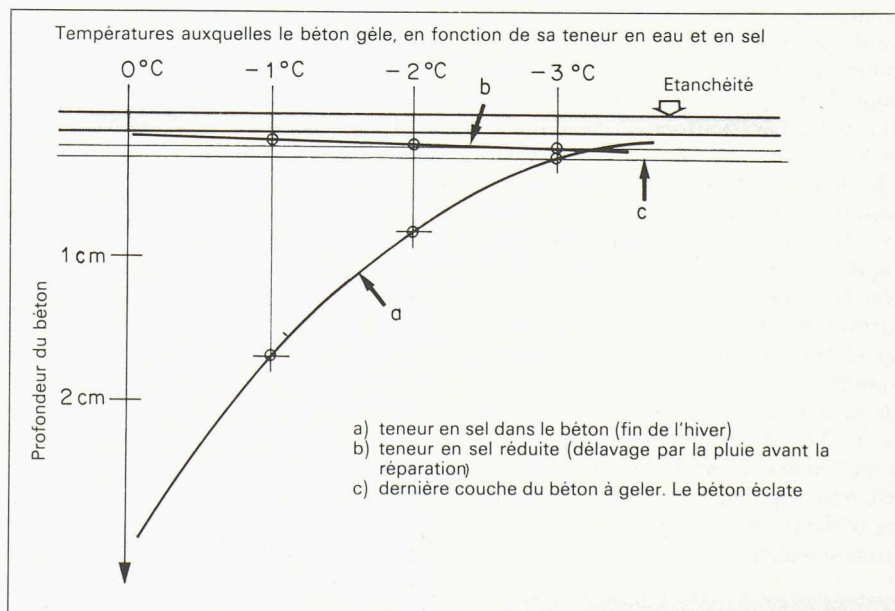


Fig. C3. — Schéma présentant la formation du gel en fonction de la courbe de la teneur en sel dans le béton.

Une station de l'ISM située non loin de là a enregistré une humidité relative de l'air extérieur de 82%.

Un refroidissement du béton de $0,6^{\circ}\text{C}$ seulement devait déjà provoquer une condensation en surface. Mais long-

temps avant, la vapeur d'eau monte jusque sous l'étanchéité et condense dans le béton. Ce phénomène, que l'on nomme aussi thermoséparation, est bien connu en technique de construction des toits plats.

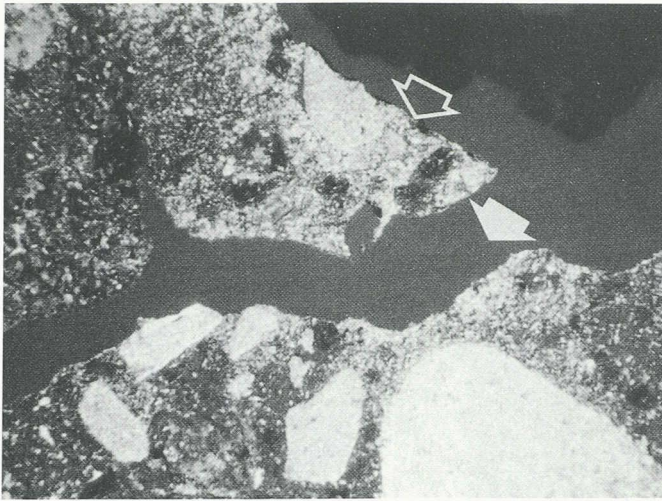


Fig. C4. — Echantillon prélevé dans la zone du revêtement endommagé; l'étanchéité n'adhère déjà plus, des fissures faïencées sont visibles à la surface du béton. lame mince (éch.: 30:1).

(Photo: laboratoire LPM, Beinwil)

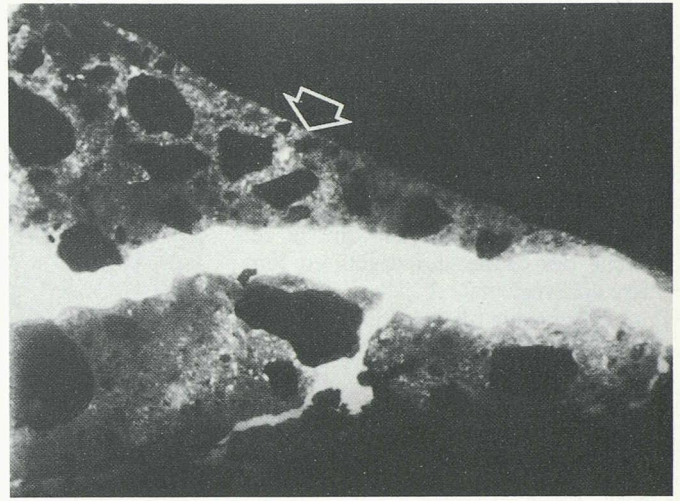


Fig. C5. — Echantillon prélevé dans une zone paraissant saine; l'étanchéité est intacte et adhère parfaitement au béton; fissure horizontale à la surface du béton. lame mince (éch.: 30:1).

(Photo: laboratoire LPM, Beinwil)

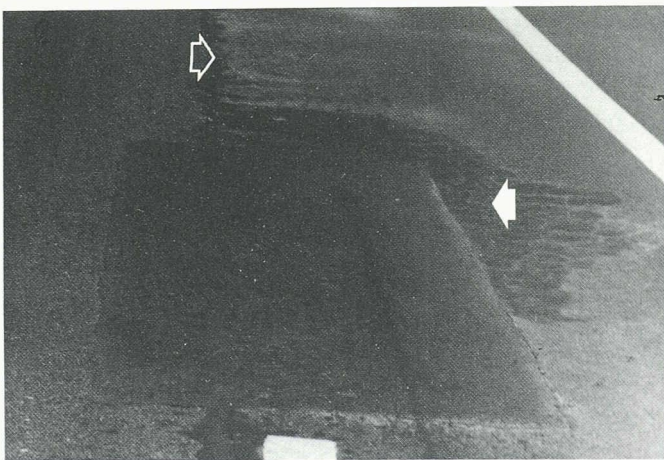


Fig. C6. — Premiers dégâts survenus au revêtement posé en première étape, le long du joint de reprise central.

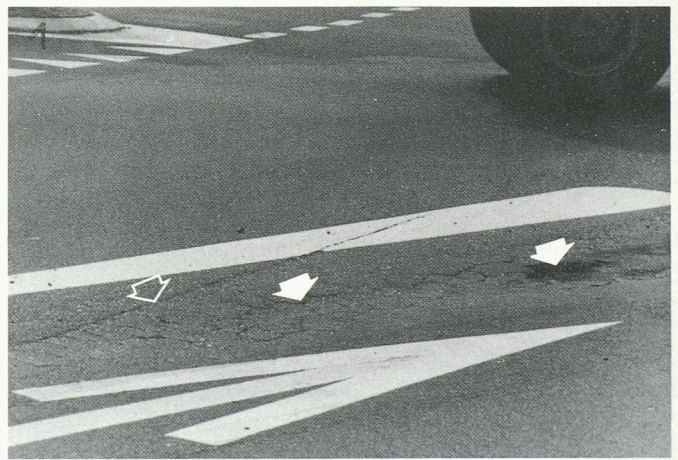


Fig. C7. — La destruction se poursuit exclusivement à l'endroit de la deuxième étape de pose, à droite (troisième étape visible à gauche du joint de reprise).

Selon un principe bien connu, la vapeur d'eau se déplace de la face la plus chaude vers la plus froide (du béton), c'est-à-dire qu'après le coucher du soleil, elle va de l'intérieur de l'ouvrage vers l'extérieur ou, en d'autres termes, en direction du sel accumulé sous l'étanchéité.

Le graphique C3 présente une explication possible de l'apparition de la fissuration du béton parallèlement à l'étanchéité lors du premier gel au début de l'hiver. Avant la réparation du revêtement, le sel a pénétré pendant des années dans le béton jusqu'à la profondeur représentée par la courbe a). En été, la pluie a partiellement délavé le sel de la surface du béton jusqu'à quelque 2-5 mm de profondeur, selon la courbe b). Le béton mouillé et imbibé d'eau salée a gelé sous l'étanchéité, et cela depuis le haut et le bas en fonction de sa teneur en sel et de l'abaissement de la température, jusqu'au point où cette teneur était la plus élevée, soit à 3 mm de profondeur environ. Lorsque l'eau a gelé dans cette zone c), son expansion a été empêchée par la glace qui l'enserrait en dessus et en dessous, ce qui a obligé le béton à éclater à cet endroit.

Le béton ayant éclaté sur toute la surface du pont, le processus de destruction ne peut plus être arrêté.

Il semble paradoxal qu'un béton mal étanché, voire pas étanché du tout, puisse mieux résister au gel de l'eau salée de déneigement qu'une surface de béton imbibée d'eau salée mais bien étanchée. Même une étanchéité avec une feuille métallique n'aurait pu empê-

cher ce dégât, parce que l'eau pouvait parvenir au sel par-dessous. Relevons en passant que l'enrobé, dont l'épaisseur n'atteignait que 6,5 cm alors que la norme prescrit un minimum de 9 cm, n'aurait pu supporter longtemps les fortes sollicitations auxquelles il était soumis.

Pour être efficace, une réfection complète exige:

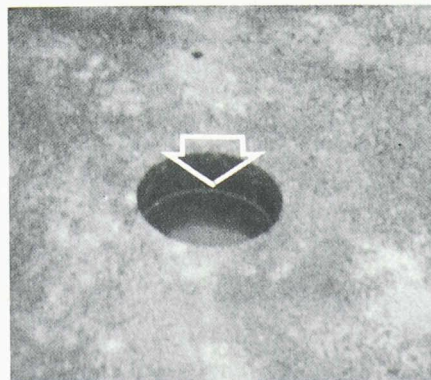


Fig. C8. — Prélèvement d'échantillons dans le revêtement deux ans après la «réfection». L'étanchéité adhère (encore) bien. Apparition de 1,4 cm d'eau stagnante vingt minutes après le prélèvement de l'échantillon.

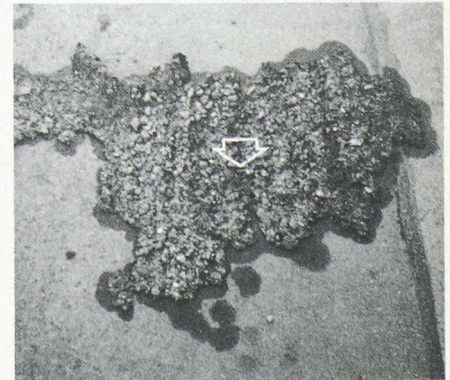


Fig. C9. — Echantillon du revêtement prélevé près du joint de reprise central, peu avant le carrefour, deux ans après la «réfection». L'étanchéité et le béton révèlent des traces manifestes de rainures dues au frottement. Vue de dessous.

1. l'ouverture des caissons;
2. l'assainissement du béton;
3. une étanchéité renforcée, à base d'élastomère posée sous forme liquide;
4. un revêtement en asphalte coulé.

Exemple D

Observations

Ce cas prouve clairement que la recherche des causes des dégâts est loin d'être achevée!

Pont d'autoroute (dans le Jura), avec un délavage inexplicable du béton à travers des fissures au-dessus d'un pilier porteur.

Réfection

Le béton préalablement fraisé a été nettoyé à l'eau sous très haute pression. L'«ornière du béton» a été réparée avec du mortier synthétique. L'étanchéité a été réalisée avec le système Efkaprène, sur lequel on a posé deux couches d'asphalte coulé.

Exemple E

Passage sur voie pour l'accès à un petit village.

Exemple F

Description de l'ouvrage

Dans le cadre d'une réfection de pont, nouveau tablier en béton pompé traité

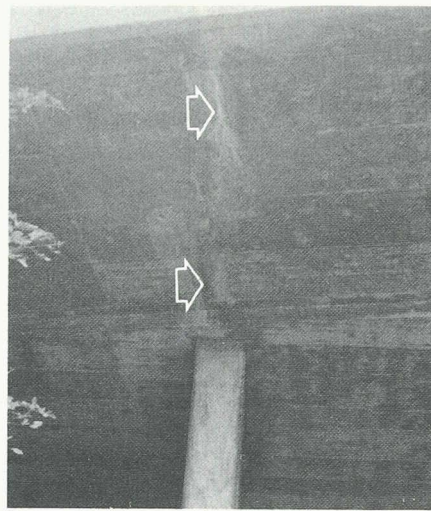


Fig. D1. — Fissure dans la dalle du tablier au-dessus d'un pilier porteur intermédiaire permettant à l'eau de s'écouler (traces de calcaire: blanches vers le bord et rouille vers le pilier).

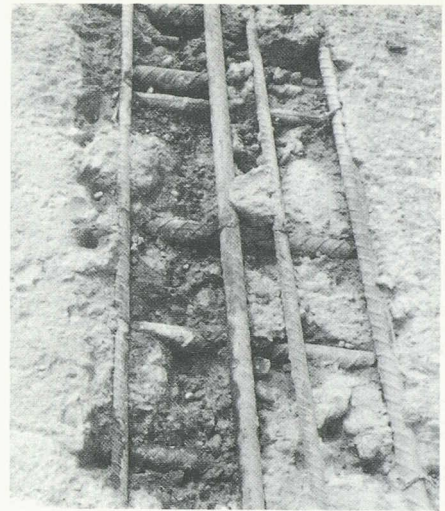


Fig. D2. — Apparition d'une fissure contenant de l'humidité dans le béton lors du démontage du revêtement. Gravelon sans liant quelque 3 mm au-dessous de la surface du béton. L'armature supérieure principale, visible sur la photo, n'était pas rouillée. L'explication de l'origine du dégât n'est pas claire.

par vacuum coulé sur une ancienne structure porteuse.

Observations

Des difficultés semblables sont apparues presque simultanément sur cet ouvrage ainsi que sur un autre lors de la pose de l'étanchéité sous forme liquide à

base d'élastomère, à savoir de petites bulles se remplissant d'eau par le bas et fermées au haut. (Sous l'action des rayons du soleil, l'étanchéité noire a chauffé l'eau libre du béton l'obligeant à se déplacer). L'eau a disparu après deux



Fig. E1. — Fissuration visible de l'enrobé.

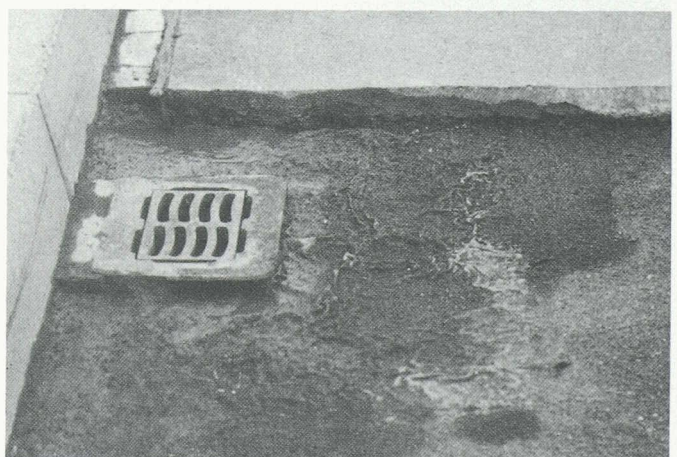


Fig. E2. — Après arrachage de l'enrobé: une feuille préfabriquée déformée et ondulée a provoqué ce dégât au revêtement.

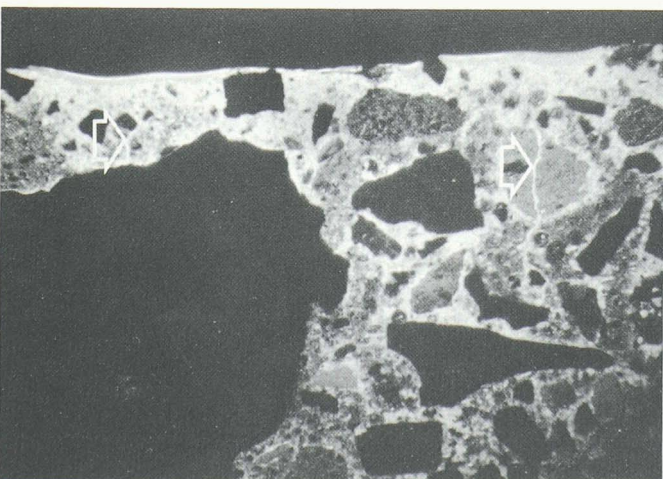


Fig. F2. — Surface de béton présentant de petites fissures, coupe transversale. Lame mince (éch.: 20:1). (Photo: laboratoire LPM, Beinwil)

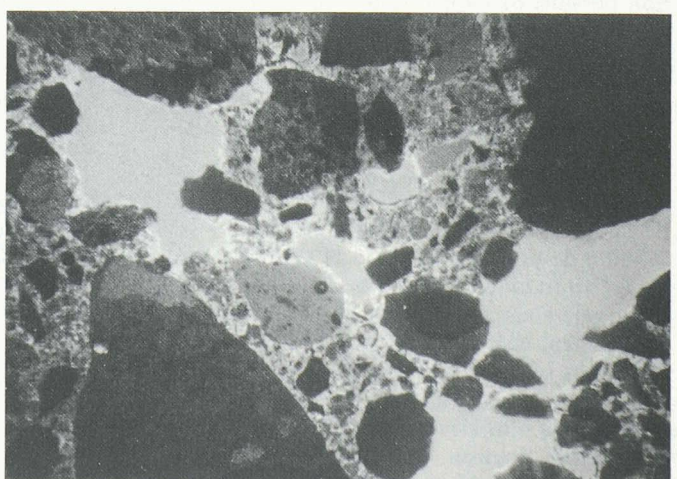


Fig. F3. — Béton situé 2 mm en dessous de la surface, avec concentration de trous. Coupe transversale. Lame mince (éch.: 20:1). (Photo: laboratoire LPM, Beinwil)

jours environ d'ensoleillement et il n'est resté que de l'air dans les petites bulles. On a découvert, sous chaque bulle, une sorte de drain qui aboutissait à une petite cavité du béton.

En recherchant les causes communes de ces phénomènes, on a constaté que les deux ponts avaient été construits en béton pompé. Des coupes minces découpées sur un échantillon prélevé sur place et analysées au laboratoire LPM ont présenté une image étonnante: le béton pompé provenant de cet échantillon avait été traité par vacuum sur le chantier. L'eau avait ainsi été aspirée hors du béton, et il subsistait des cavités. L'eau provenant du fond remonte partiellement à la surface du béton et forme de petits drains par lesquels l'eau de pluie peut à nouveau s'infiltrer, ce qui crée un risque de formation de bulles pour chaque étanchéité. Il est évident qu'un béton traité de cette manière doit « exploser » lorsqu'il est rechauffé. Dans

le cas de cet exemple, il s'agissait partiellement d'eau.

Bien des bulles entre le béton et le revêtement peuvent néanmoins se former sans qu'il y ait une pression de vapeur, c'est-à-dire simplement par l'expansion de l'air réchauffé. L'air contient toujours de l'humidité qui, par condensation, se dépose sur les parois des bulles lorsque la température baisse. Ce phénomène induit en erreur de nombreux observateurs, qui pensent qu'il s'agit de bulles provoquées par la vapeur.

En conséquence, il est clair que le béton pompé nécessite une imprégnation préalable renforcée de sa surface, voire même un fraisage préalable en surface sur 2 mm de profondeur environ, pour ouvrir les cavités supérieures.

Exemple G

Séchage naturel d'un pont en béton (du point de vue de la physique des constructions).

Il n'a plus été possible de poser un revêtement en asphalte coulé en automne

directement après l'application de l'étanchéité Efkaprène sur un pont d'autoroute. D'après le principe de la loi du déplacement de la vapeur, ce pont devait tout de même sécher, car la vapeur d'eau se déplace du chaud vers le froid. Généralement un pont est plus chaud en dessus que dessous. Le séchage doit donc se faire automatiquement. Ces hypothèses ont été confirmées par des mesures effectuées parallèlement sur des dalles modèles.

Conclusions et enseignements

Analyse minutieuse de l'état existant de l'ouvrage

Il convient tout d'abord de procéder à un examen minutieux de l'état dans lequel se trouve le pont en béton au moment où l'on décide d'entreprendre des travaux de réfection. Ces derniers doivent presque toujours être accomplis dans des temps record, alors qu'il faudrait justement disposer de suffisam-

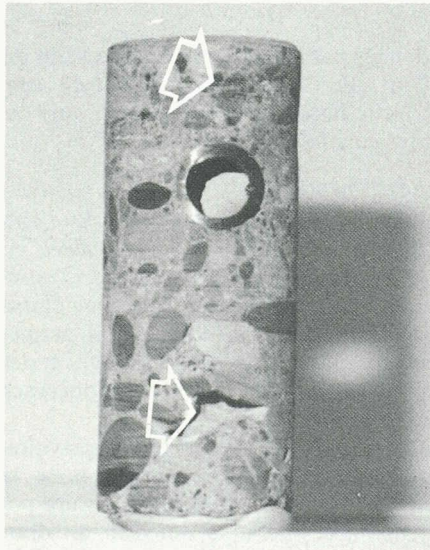


Fig. F1. — Carotte d'un diamètre de 5 cm présentant un gros trou visible à environ 8 cm de profondeur. Les petits trous ne se remarquent pas sur la photo.

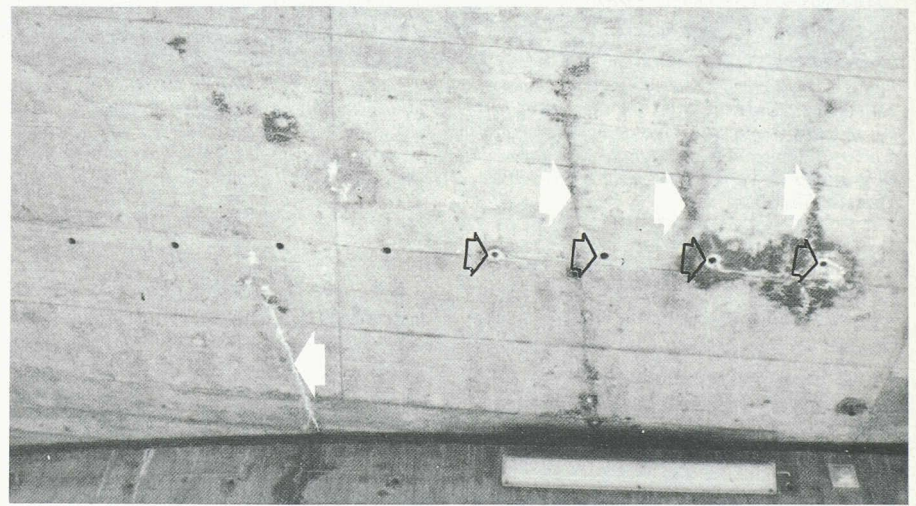


Fig. G3. — Vue du dessous: dalle en béton percée jusqu'aux éléments en mousse synthétique. L'eau s'est déjà écoulée par les fissures longitudinales. Ecoulement de l'eau par les trous de forage (à droite sur la photo). Cf. fig. G2 également.

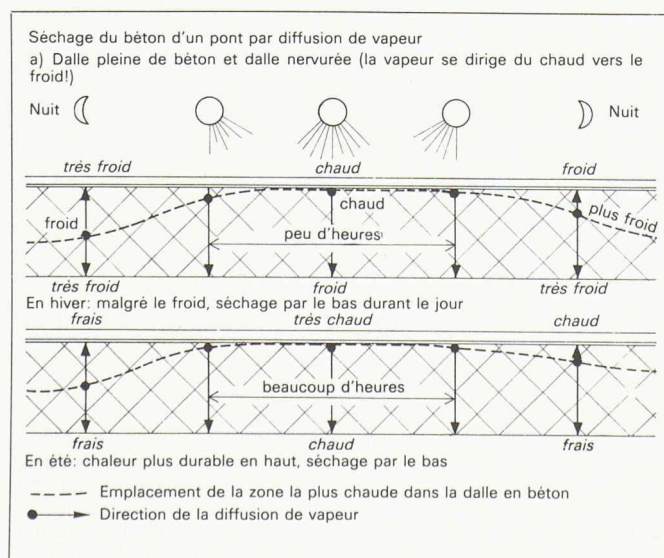


Fig. G1. — Dalle nervurée en béton d'un pont d'autoroute dans une région de montagne.

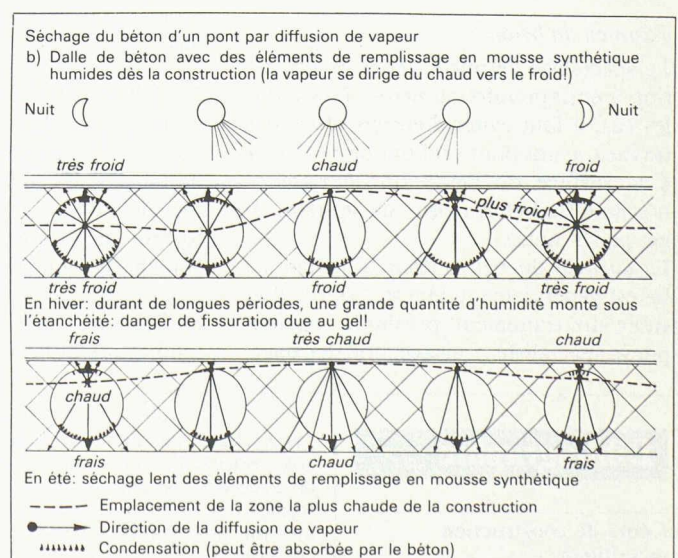


Fig. G2. — Pont d'autoroute en montagne avec éléments de remplissage en mousse synthétique remplis d'eau. Le séchage des éléments en mousse synthétique dure des années.

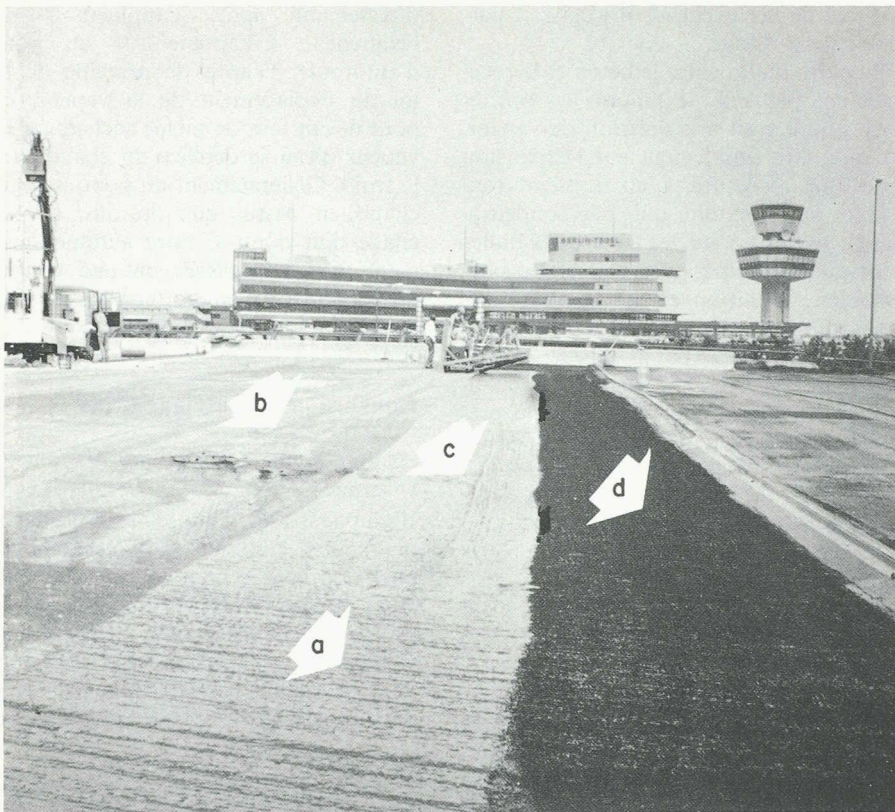


Fig. 8. — Réparation d'un revêtement de pont destiné aux lourdes charges (piste de roulement pour avions Galaxy). Sens du roulement perpendiculaire au champ photographique: a) rainures des fraiseuses (quelque 3 cm de béton ont été fraisé); b) surface de béton ayant reçu une couche de primer; c) étanchéité synthétique sous forme liquide, à base d'élastomère; d) couche d'accrochage en granules de caoutchouc prête à recevoir le revêtement en asphalte coulé; à droite de la photo: joint de dilatation.

ment de temps pour les exécuter. Il faut réparer soigneusement le béton et le laisser sécher, avant de le recouvrir d'une nouvelle étanchéité. Il est possible de découvrir un dégât à la dalle du tablier depuis le dessous du pont, alors que la surface de roulement ne présente encore aucun signe visible de dommage. A première vue, la surface d'un béton imbibé de sel peut paraître tout à fait saine. Seul l'examen d'un échantillon prélevé sur place permet toutefois de définir avec exactitude sa teneur en sel.

Examen du béton

Le spécialiste définit le genre de réparation à entreprendre au béton. Dans tous les cas, il faut éviter d'entreprendre des travaux ayant pour seul but de redonner à la surface du béton une apparence normale (le béton risque de se désagréger par la suite).

La surface du béton dont la teneur en sel est généralement déjà très élevée doit subir un traitement préalable, prescrit par le spécialiste (fraisage, bouchardage,

ponçage et réparation des endroits endommagés avec un mortier spécial approprié, voire même réfection de toute la surface du béton par des spécialistes). Le sel qui demeure dans le béton est une source d'ennuis latents. La dalle de béton devrait être bien sèche avant de recevoir, avec le sel qu'elle contient, l'étanchéité. Il faudrait absolument empêcher l'eau et l'humidité de parvenir jusqu'au sel, qui attire l'eau, selon le principe bien connu de l'osmose. Les caissons évidés de la structure doivent absolument demeurer ouverts vers le bas!

Étanchéité sous forme liquide

L'étanchéité doit être en mesure de s'adapter et d'adhérer aux irrégularités de la surface rugueuse fraisée ou réparée du béton, en épouser toutes les formes et «ponter» les fissures. Une étanchéité synthétique à base d'élastomère, posée sous forme liquide, est par conséquent plus appropriée que les feuilles préfabriquées. Selon les résultats

Bibliographie

- [1] M. BLUMER et autres, *Dégâts aux revêtements de chaussées hydrocarbonés*. Documentation sur les défauts de construction, leur suppression et leur prévention, vol. 4, édition Baufachverlag, Zurich 1982.
- [2] Union suisse des professionnels de la route, *Revêtements et isolations de ponts*. Norme SNV 640 490a, Zurich 1972.
- [3] M. BLUMER, *Einbauen und Verdichten* (Mise en place et compactage). Schweiz. Mischgutindustrie, 1981.
- [4] M. BLUMER, *Technik des bituminösen Strassenbaus* (Techniques de construction des routes avec des enrobés). Infobit 80, 1980.
- [5] B. ROMER, *Schutz und Sanierung von Bauwerken* (Protection et réfection des ouvrages d'art). Edition Lack und Chemie, Möller GmbH, Filerstadt.
- [6] B. ROMER, *Qualitätsüberwachung von Beton-Bauwerken* (Contrôle de la qualité des ouvrages d'art en béton). Schweizer Bauwirtschaft, cahier 20, 1980.

donnés par l'analyse de l'état existant de l'ouvrage, le béton sec et préparé sera ensuite imprégné préalablement une ou plusieurs fois (primer).

Revêtement coulé

Pour les mêmes raisons, la couche d'égalisation devrait pouvoir être coulée en place. L'asphalte coulé est par conséquent tout indiqué, car il s'adapte plastiquement aux irrégularités et il permet une bonne répartition des charges et des poussées, grâce à une bonne adhérence au support.

L'asphalte coulé recouvert de gravillon s'avère le meilleur matériau pour la couche d'usure. Une couche d'usure poreuse nécessiterait à nouveau un drainage du revêtement au-dessus de l'asphalte coulé et ne serait par conséquent pas économique (fig. 8).

Un programme de réparation élaboré sur la base de l'analyse exacte de l'état existant de l'ouvrage permet d'entreprendre les travaux appropriés pour parvenir à la remise en état souhaitée du pont à réparer.

Adresse des auteurs:

F. Kilcher, ing. SIA
Wengisteinstr. 9A, 4500 Soleure
Michel Fouvy, ing. EPFL-SIA
Rue du Temple 3
1096 Cully

Bibliographie

Cours de construction métallique

par L. Fruitet. — Un vol. 15,5 × 24 cm, 376 pages, Editions Dunod, Paris 1983.

Les ossatures métalliques offrent aux concepteurs une multitude de procédés, de composants de formes très différentes, leur permettant une grande liberté de création, qui ne va pas sans les contraintes liées à tout matériau de construction, notamment l'acier.

L'auteur montre dans cet

ouvrage comment l'architecte doit intégrer ces contraintes au processus créateur. Son cours, tout en gardant un caractère strictement technologique, utilise des éclairages et un langage qui s'adressent en priorité à l'architecte, en s'efforçant de lui offrir des outils de conception plutôt que des recettes.

L'expérience professionnelle et pédagogique de l'auteur, l'originalité de son approche, le soin apporté aux illustrations, la clarté de l'exposé font de ce livre un outil indispensable aux architectes étudiants et praticiens, mais aussi aux ingénieurs qui souhaitent approfondir tel point de leur domaine propre.