

# Pathologie et évaluation des ponts existants

## Équipements, appareils d'appui et éléments de protection

par **Daniel POINEAU**

*Ingénieur divisionnaire des Travaux Publics de l'État – Ex-Directeur technique à la Division des Grands Ouvrages du Sétra  
Professeur à l'École nationale des Travaux Publics de l'État, à l'École spéciale des Travaux Publics et à l'École supérieure des ingénieurs des Travaux de la construction  
Consultant*

et **Jean-Armand CALGARO**

*Ingénieur général des Ponts et Chaussées  
Membre permanent du Conseil général de l'Environnement et du Développement Durable  
Professeur au Centre des Hautes Études de la Construction*

*Cette édition est une mise à jour de l'article de Roger LACROIX et Jean-Armand CALGARO intitulé Pathologie et évaluation des ponts existants paru en 1999.*

<b>1. Équipements, appareils d'appui et éléments de protection...</b>	<b>C 7 403 – 2</b>
1.1 Désordres affectant les joints de dilatation.....	— 2
1.2 Désordres affectant les appareils d'appui.....	— 3
1.3 Désordres affectant l'étanchéité.....	— 6
<b>Pour en savoir plus.....</b>	<b>Doc. C 7 402</b>

**C**e dossier traite du cas particulier des équipements, appareils d'appui et éléments de protection.

Classiquement, dans les équipements étaient inclus les seconds, tels que la chape d'étanchéité. L'instruction technique, relative à la surveillance et à l'entretien des ouvrages d'art (ITSEO) du 19 octobre 1979, modifiée le 26 décembre 1995, a changé ce mode de classification pour tenir compte du rôle qu'assurent ces divers éléments ainsi que des responsabilités et des garanties qui en découlent. Ainsi, par définition :

- la structure est l'ensemble des parties constitutives d'un pont qui reçoit les charges et les transmet au sol de fondation. Les **appareils d'appui**, qui transmettent les charges du tablier vers les appuis, font donc bien partie de la structure et relèvent de la responsabilité décennale ;
- les **éléments de protection** rassemblent tous les dispositifs annexes destinés à protéger l'ouvrage contre les divers agents agressifs (chape d'étanchéité, enrochements, perrés,...). La chape d'étanchéité fait l'objet d'une période de garantie spécifique (cf. titre I du fascicule 67 du CCTG) ;
- les **équipements** sont les dispositifs ajoutés pour :
  - le confort et la sécurité des usagers (joints de dilatation, dispositifs de retenue,...),
  - la surveillance et l'entretien (passerelle de visite, échelle à crinoline,...),
  - l'esthétique (corniches,...).

*Cet article fait suite au [C 7 402] décrivant les principaux désordres rencontrés et leurs causes.*

*Le suivant, [C 7 404], traite des méthodes d'auscultation des ponts.*

*Le dernier, [C 7 405], aborde l'évaluation des ouvrages existants.*

*Le lecteur se reportera aussi utilement à l'autre série d'articles portant sur le renforcement et la réparation d'un pont [C 7 803], [C 7 804], [C 7 805] et [C 7 806].*

## 1. Équipements, appareils d'appui et éléments de protection

Un pont est avant tout destiné à offrir un service avec un niveau de sécurité normalement accepté par la société. Les équipements mais aussi les appareils d'appui et les éléments de protection de ce pont contribuent largement à assurer le niveau requis, permettant aux usagers de franchir un obstacle sans autres risques que ceux liés à leur propre comportement. Pourrait-on imaginer d'emprunter un pont routier dépourvu de couche de roulement, de dispositifs de retenue latéraux, de joints de dilatation ? Le coût des équipements représente couramment de 8 à 12 % du coût initial total d'un pont et peut atteindre, dans certains cas limites, 25 à 30 %. Mais leur coût d'entretien représente une fraction beaucoup plus élevée du montant des crédits globalement consacrés à la maintenance des ouvrages d'art par l'État ou les collectivités locales.

Parler de pathologie des équipements n'a guère de sens : leur durée de vie ne saurait être comparée à celle de la structure porteuse, même si la garantie de fonctionnement de certains produits porte actuellement sur plusieurs décennies. Il convient donc d'admettre que les équipements vieillissent, s'usent ou se détériorent, et qu'il faut les restaurer ou les remplacer périodiquement [27].

Une **attention particulière** doit être portée aux désordres affectant les joints de dilatation, car ils peuvent trahir ou, dans certains cas, induire des dysfonctionnements structuraux.

Les désordres qui affectent les **appareils d'appui**, qui font partie de la structure, peuvent avoir des conséquences sur le reste de la structure ou marquer un défaut de fonctionnement de celle-ci [25].

Tout défaut d'**étanchéité** conduit, à plus ou moins longue échéance, à des désordres dans les matériaux de la structure qui peuvent se transformer, à terme, en désordres structuraux [13].

### 1.1 Désordres affectant les joints de dilatation

Les joints de dilatation, classés dans les équipements et constituant des singularités dans une chaussée routière, subissent des sollicitations dynamiques répétées qui engendrent leur

détérioration et/ou celle de leur support car, malgré toutes les précautions prises, le calage d'un joint par rapport au niveau de la chaussée adjacente n'est jamais parfait. Et quelques millimètres de dénivellation suffisent pour que l'action « statique » du trafic soit fortement amplifiée par l'effet dynamique.

Certains types de joints, notamment les systèmes « à hiatus », peuvent encore aggraver le phénomène, puisque le passage de la roue sur un hiatus (cf. **Nota**) équivaut à un défaut de nivellement fonction de l'importance de celui-ci.

**Nota** : un joint à « hiatus » est un joint à « lèvres », par opposition aux joints à « peigne », dont le vide est généralement rempli par un profilé en caoutchouc.

Certaines dénivellations verticales trouvent leur origine dans le fonctionnement normal de la structure.

Par **exemple**, les rotations des extrémités d'un tablier sous chargement des travées provoquent un léger soulèvement du joint par rapport à la chaussée aux abords.

Dans le même ordre d'idées, notons les mouvements longitudinaux d'un tablier de forte pente, reposant sur des appareils d'appui horizontaux (le mouvement longitudinal du joint s'accompagne d'un décalage vertical).

■ Les **désordres les plus fréquents dus à l'action dynamique du trafic routier** sont les suivants :

- rupture de soudures d'éléments métalliques. Ces soudures doivent être correctement situées pour fonctionner dans de bonnes conditions et, surtout, être faciles à bien exécuter conformément aux règles de l'art pour avoir une bonne tenue à la fatigue ;
- rupture d'éléments métalliques par insuffisance de résistance ;
- rupture ou arrachement de parties de joint sous l'effet du freinage ;
- désorganisation d'ancrages.

Dans les pays au climat froid, il faut aussi noter l'action des chasse-neige dont les lames, raclant la chaussée, peuvent détériorer les éléments du joint.

Mais les effets du trafic ne sont pas les seuls à provoquer l'usure et la détérioration des joints.

Par **exemple**, la tenue aux cycles de gel/dégel, et aux sels anti-verglas du béton sur lequel ils sont fixés n'est pas toujours parfaite. Les désordres des longrines d'appui compromettent la tenue du joint lui-même, voire de ses abords immédiats, par suite de défauts de nivellement.

■ La **corrosion** fait partie des causes de désordre. Il est clair qu'une meilleure tenue dans le temps est observée avec des joints en matériaux inaltérables dans les conditions de service ou ayant reçu une

protection de qualité contre la corrosion, en principe au moins la galvanisation pour les pièces soumises directement aux intempéries.

Provoquée par la présence d'humidité et de sels anti-verglas, une **corrosion par couple galvanique** peut être observée lorsque sont associés deux métaux ayant des potentiels électrolytiques différents : alliage d'aluminium sur un socle en fonte, par exemple. Ce type de désordre, relativement rare, a été relevé sur une autoroute soumise à un salage intense. Parfois, le phénomène peut aussi apparaître brutalement après une longue période de latence.

■ Dans le cas de joints comportant des pièces frottant les unes sur les autres, joints à ponts appuyés ou à système multi-hiatus par exemple, l'usure peut provoquer :

- des décalages des éléments et des battements avec des chocs rendant le joint bruyant donc ne satisfaisant pas à l'une de ses exigences de base ;
- des défauts d'appui avec transfert de charges sur d'autres éléments non dimensionnés pour cela, provoquant ainsi des ruptures ou des effondrements.

Il arrive que la capacité du souffle du profilé, assurant l'étanchéité dans le vide du joint, ne soit pas à la hauteur des exigences souhaitées, soit par erreur de conception, soit par perte de ses qualités dans le temps. On observe alors des « déjantages » de profilés de joints de type « à hiatus » ou de produits qui ne suivent pas correctement les déformations imposées.

**Il faut noter que** les joints ne subissent pas seulement des déplacements relatifs dans le sens longitudinal : ils « bougent » également horizontalement dans le cas des ponts biais ou courbes. C'est ainsi que l'on peut constater des ruptures de pièces (dents ou mécanismes) sur des joints dont la capacité de débattement transversal est inadaptée au mouvement réel observé sur l'ouvrage.

Pour les mouvements verticaux, certaines conceptions de joints sont mieux adaptées que d'autres pour faciliter ce mouvement : ce sont principalement les joints à bande. Les sollicitations par chocs dans cette configuration sont alors plus réduites.

■ Les causes d'endommagement des joints de dilatation liées à une qualité de mise en œuvre défectueuse sont nombreuses :

- défaut de liaison de la poutre supportant le joint avec la structure (ferrailage incorrectement connecté, entraînant l'effondrement à court terme du joint de chaussée ;
- non-respect des enrobages appropriés, d'où une corrosion accélérée des armatures) ;
- défauts de qualité du béton d'ancrage, de scellement ou de calage (absence de contrôle, rajout intempestif d'eau, mise en œuvre médiocre, bétonnage par temps froid sans précautions, remise en service avant que le béton d'ancrage ait atteint une résistance suffisante...) ;
- défauts de serrage de la boulonnerie ou mauvaise exécution des soudures liant les différents éléments (ces malfaçons sont, heureusement, très rapidement détectées sous trafic, mais elles n'en compromettent pas moins le confort, voire la sécurité, des usagers).

## 1.2 Désordres affectant les appareils d'appui

Très généralement, les appareils d'appui et leur environnement sont mal entretenus. À plus ou moins brève échéance, cela peut entraîner des dysfonctionnements structuraux dont l'importance est souvent en relation directe avec la complexité des dispositifs concernés, notamment pour les appareils d'appui métalliques. À l'inverse, il arrive que le fonctionnement réel d'un ouvrage soit différent de celui escompté lors de sa conception.

Par **exemple**, la mise en butée intempestive d'un tablier (joint de dilatation obstrué par des sédiments) ou le mouvement d'une culée (tassements différentiels) peuvent modifier la répartition des charges et des déplacements entre les différentes lignes d'appui, ce qui entraîne inévitablement des désordres dans les appareils.

Il peut arriver que certains désordres soient dus à des défauts de fabrication (rupture fragile d'une lentille d'un appareil d'appui sphérique, décollement de plaques de glissement en acier inoxydable, etc.). Mais, les désordres les plus courants résultent plutôt de mauvais choix au moment du projet, liés à une mauvaise connaissance des produits et de leurs performances réelles de la part du projecteur, voire de véritables erreurs de conception (par exemple, appareils d'appui de raideurs différentes ou dispositifs unidirectionnels disposés sur une même ligne d'appui).

Les défauts de mise en œuvre sont également à l'origine de nombreux désordres : ils se traduisent généralement par des dépassements de la capacité de rotation et/ou de distorsion, associés à des défauts d'assise (mauvaise exécution des bossages, méthode de pose n'assurant pas la bonne conjugaison des faces d'appui, l'absence de contrôle et de réglage des appareils d'appui en fin de construction.

Par **exemple**, il a été constaté au niveau d'une culée, en fin de construction, que la réaction sur un appareil d'appui valait deux fois celle mesurée sur l'autre mais que la somme des deux réactions était sensiblement égale à la réaction calculée.

Dans ce qui suit, quelques indications sont données sur certains types d'appareils d'appui, de conception plus ou moins ancienne, dont sont encore dotés de nombreux ponts existants [25].

### ■ Appareils d'appui métalliques fixes

Ils sont conçus pour permettre les rotations et empêcher les déplacements. Il en existe quatre familles (tableau 1).

### ■ Appareils d'appui métalliques mobiles

Ils permettent les rotations et les déplacements suivant l'axe longitudinal de l'ouvrage. On distingue quatre types principaux (tableau 2).

### ■ Appareils d'appui en béton

Ils sont étudiés dans le tableau 3.

### ■ Appareils d'appui en caoutchouc fretté par adhérence de forme

Les appareils d'appui modernes [8] sont en caoutchouc fretté adhésivé par vulcanisation ou des appareils à pot (tableau 4). Leur tenue dans le temps dépend de la qualité de leur pose et de l'adéquation de leur dimensionnement.

### ■ Changement et réhabilitation des appareils d'appui

Les opérations sur un appareil d'appui existant portent soit sur :

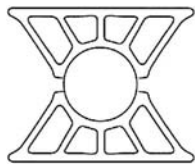
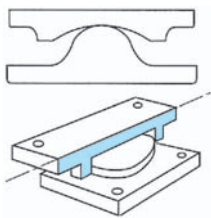
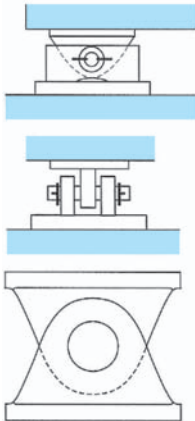
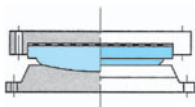
- son réglage ;
- son remplacement ;
- sa réhabilitation ;
- la création de dés d'appui.

Tous ces travaux imposent un vérinage du tablier combiné à un réglage ou à un contrôle de la réaction d'appui (le réglage et la mesure de la réaction d'appui peuvent être nécessaires mais n'imposent pas forcément un changement de l'appareil d'appui).

• **Un vérinage est une opération très délicate** qui nécessite une bonne connaissance de l'ouvrage et le respect rigoureux de la procédure. Une mauvaise maîtrise du vérinage peut entraîner de graves désordres à l'ouvrage. Les points clés d'une telle opération doivent être rigoureusement respectés selon les étapes suivantes :

- visite préliminaire de l'ouvrage (recherche des emplacements de vérinage, détection des éléments pouvant empêcher le

Tableau 1 – Appareils d'appui métalliques fixes

Appuis à balanciers et rouleau, ou à appui linéaire		Les rotations se font par frottement des balanciers sur le rouleau. Généralement surdimensionnés, on ne leur connaît pas de désordre mécanique (fissures ou rupture). Par contre, la corrosion et parfois l'accumulation de sable ou de graviers entre les balanciers limitent, et parfois empêchent, leur fonctionnement.
Appuis à grains		Par rapport aux précédents, le rouleau est remplacé par une nervure demi-circulaire (le grain) venue de fonderie avec l'un des deux balanciers. Ils présentent des risques de blocage comparables, et même aggravés lorsque le grain est solidaire du tablier, la rainure du balancier inférieur facilitant les accumulations de poussières et d'humidité.
Appuis à chapes		Ils présentent l'avantage d'empêcher les soulèvements, mais connaissent assez souvent des désordres dus à un jeu relativement important entre l'axe et les chapes. La répétition de chocs lors des changements de sens de la réaction d'appui peut entraîner la rupture de l'axe, une désorganisation des scellements, voire la rupture des tiges d'ancrages par fatigue, dus à une sous-estimation des effets dynamiques.
Appareils d'appui sphériques		Ils sont constitués de deux calottes sphériques, l'une concave et l'autre convexe, glissant sur une feuille de polytétrafluoroéthylène. Les dysfonctionnements sont liés à un endommagement de la (ou des) surface(s) de glissement et se traduisent par des blocages.

soulèvement du tablier, tels que la présence de manchons dans les lisses d'un garde-corps au niveau du joint de dilatation, le blocage de l'about d'un tablier sur le mur garde-grève de la culée...);

- projet de vérinage avec sa note de calculs justifiant que le vérinage ne met pas en cause la résistance du tablier et des appuis ;
- matériel de vérinage (tarage des vérins et des systèmes de mesure...);
- Plan d'Assurance de la Qualité (PAQ) et de la procédure de vérinage ;
- contrôles.

• Lorsque l'on doit changer les appareils d'appui de petits ouvrages (ouvrages qualifiables de légers), on peut généralement se contenter de disposer des appareils en caoutchouc fretté sous réserve de prévoir des **butées anti-cheminement** à cause des effets dynamiques au passage des poids lourds. Une telle conception fait appel à des appareils d'appui comportant une plaque métallique extérieure (appareils d'appui de type C au sens de la norme

NF EN 1337-3, cf. [Doc. C 7 402]) qui doit être bloquée entre des taquets métalliques fixés sur le dé d'appui inférieur.

Sauf cas particulier, il n'y a pas de raison évidente qui conduise à changer la plupart des appareils d'appui métalliques. Dans de très nombreux cas, on peut se contenter de démonter les divers éléments constitutifs (galets, axe, bielle...), de les nettoyer (un sablage est en général nécessaire), de les graisser et de les remettre en place.

• Dans le **cas des chapes**, on peut être amené à réaliser les trous et à mettre en place un axe d'un diamètre supérieur à celui de l'axe existant. Le remplacement d'un appui métallique par un appareil d'appui à pot ne constitue pas en général une amélioration. En effet, conçus pour des ouvrages en béton, ils sont souvent mal adaptés aux besoins des ponts métalliques qui présentent des rotations et des dilatations quotidiennes beaucoup plus importantes, alors que le déplacement total est plus faible (inertie thermique plus faible, mais pas de retrait, ni de fluage).

Tableau 2 – Appareils d'appui métalliques mobiles

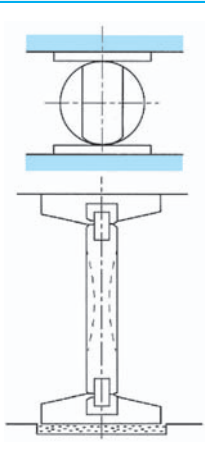
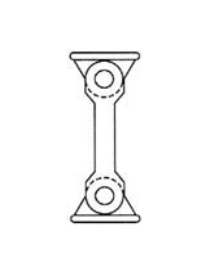
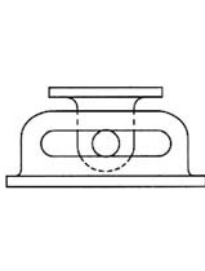
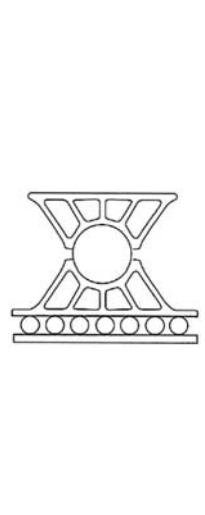
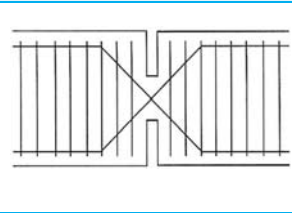
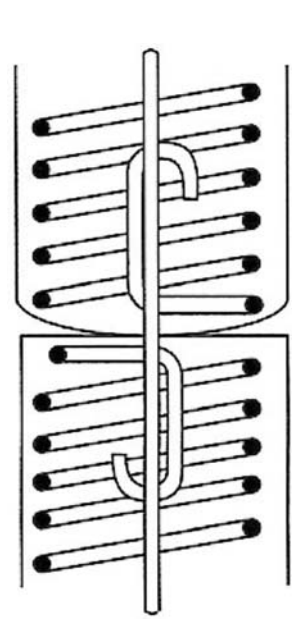
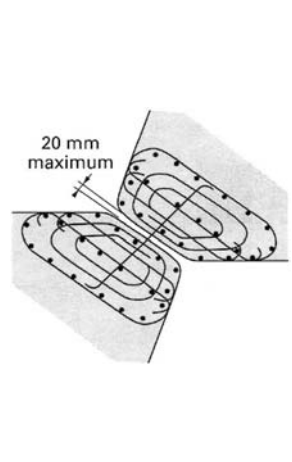
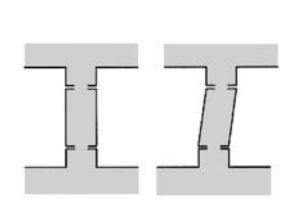
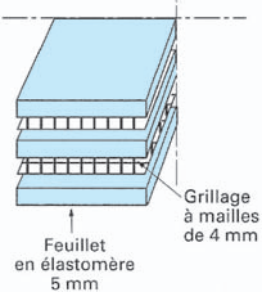
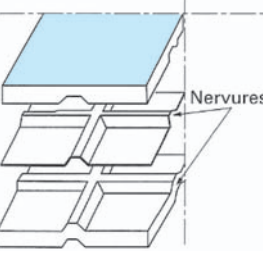
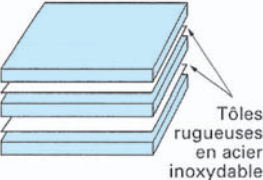
Appuis à galet et balanciers		Ce type d'appareil d'appui ne présente pas de pathologie systématique ; les désordres proviennent soit d'une erreur lors de la pose et, en particulier, d'un défaut de parallélisme des balanciers qui peut provoquer le ripage du galet et la rupture des dents de guidage, soit de leur environnement.
Appuis à bielle		Ils s'apparentent aux appuis à chapes et présentent les mêmes qualités et défauts. Les déplacements étant obtenus par rotation de la bielle, tout déplacement horizontal s'accompagne d'un petit déplacement vertical qui n'est pas toujours sans incidence sur le fonctionnement du joint de chaussée.
Appuis à coulisseau		Il s'agit d'appuis à chape dans lesquels le trou de l'une des chapes (en général la chape femelle) a été remplacé par une rainure dans laquelle l'axe solidaire de l'autre chape peut tourner et se déplacer. Utilisés exclusivement sur les ponts suspendus, ils présentent les mêmes qualités et défauts que les appuis à chapes.
Appuis à rouleaux		Ils sont constitués par un appui fixe à balancier et rouleau reposant sur une platine par l'intermédiaire d'un train de rouleaux de petit diamètre (40 à 50 mm) qui sont souvent solidarisés entre eux par deux barrettes articulées à leurs extrémités. Les petites dimensions des vides entre les rouleaux favorisent l'accumulation de poussières, de sable et d'humidité et empêchent toute aération et même tout entretien. Dans leur quasi-totalité, les appareils de ce type sont bloqués par la corrosion, ce qui provoque assez souvent des désordres dans les maçonneries des piles et des culées voire, dans un cas heureusement exceptionnel, le basculement d'une culée.

Tableau 3 – Appareils d'appui en béton

Articulation « Mesnager »		Pathologies : fissuration, éclats du béton d'enrobage, mise à nu du ferrailage qui se détériore par oxydation.
Articulation roulante « Caquot-Considère »		Pathologies : fissuration, éclats du béton d'enrobage, mise à nu du ferrailage qui se détériore par oxydation.
Articulation « Freyssinet »		Le principe de cette articulation est de faire travailler le noyau rétréci de béton dans le domaine plastique. Au bout d'un certain nombre d'années, ce noyau disparaît (désagrégation du béton) et l'acier traversant peut flamber en compression s'il est situé au bord d'une pièce dépourvue d'armatures de frettage correctement disposées.
Bielles et pendules		Mêmes problèmes que pour les articulations « Freyssinet ».



**Tableau 4 – Appareils d'appui en élastomère fretté par adhérence en forme**

<b>Appareils à grillages</b>		
<b>Appareils à plaques nervurées</b>		<b>Pathologies :</b> – glissement relatif des feuillets (défauts d'adhérence) ; – corrosion de frettes ; – fissurations diverses de l'élastomère ; (attaque par l'ozone) ; – extrusions diverses.
<b>Appareils à frottement</b>		

En outre, les configurations géométriques des ouvrages existants sont rarement compatibles avec celles des appareils d'appuis à pot et avec leurs tolérances de pose (parallélisme, horizontalité).

• **L'expérience montre** que, dans la plupart des cas, ce n'est pas l'appareil d'appui qu'il faut changer ou améliorer, mais c'est son environnement qu'il faut modifier pour éviter sa corrosion.

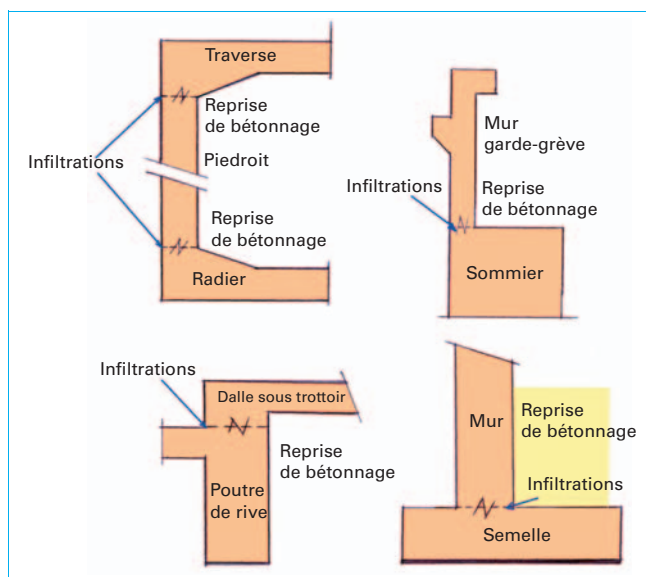
### 1.3 Désordres affectant l'étanchéité

Tout défaut d'étanchéité (absence de chape totale ou partielle, mauvaise réalisation de la chape, vieillissement de la chape, endommagement de la chape lors du renouvellement de la couche de roulement...) permet aux agents agressifs, principalement l'eau et les sels anti-verglas, de parvenir au contact des matériaux de la structure, ce qui progressivement entraîne divers types de corrosion :

- des tôles (cas du platelage des dalles orthotropes) ;
- des armatures de béton armé ;
- des armatures de précontrainte transversales voire, longitudinales ;
- la désorganisation du béton sous les effets du gel ou de la corrosion des armatures (délamination).

Cette corrosion se traduit, à terme, par des désordres structuraux :

- insuffisance de capacité portante ;
- voire, dans certain cas, ruptures partielles ou totales.



**Figure 1 – Exemples de reprises de bétonnage pouvant être le siège d'une corrosion des armatures**



**Figure 2 – Effets des venues d'eau au travers des joints non étanches entre éléments de corniche** (Crédit D. Poineau)

Les désordres sont accentués par des dispositions constructives favorisant le passage de l'eau, telles que :

- câbles de précontrainte relevés au niveau du hourdis supérieur ;
- câbles placés dans des encoches dans la dalle de couverture ;
- dalle de couverture coulée avec de multiples reprises de bétonnage...

**Remarque :** les défauts d'étanchéité ne concernent pas que les dalles de couverture et les tabliers. D'autres structures, ou parties de structures, peuvent être impliquées.

#### Exemples :

- un mur de soutènement, un pont-cadre, un mur garde-grève, un encorbellement au niveau des reprises de bétonnage en l'absence de mise en place d'un revêtement d'étanchéité et en cas de venues d'eau (des effondrements de murs ont eu lieu et un encorbellement sous trottoir a subi le même sort) (figure 1) ;
- les joints entre les éléments de corniches préfabriquées où, en l'absence d'un larmier, l'eau souvent chargée en sels anti-verglas ruisselle sur les parements, entraînant la corrosion des armatures des encorbellements et des poutres... (figure 2).