

# Le comportement en service des ponts dans les Alpes suisses

Autor(en): **Rey, E.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **IABSE reports of the working commissions = Rapports des commissions de travail AIPC = IVBH Berichte der Arbeitskommissionen**

Band (Jahr): **032 (1979)**

PDF erstellt am: **26.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-25612>

## **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.



## **Le comportement en service des ponts dans les Alpes suisses**

Brücken in der Bewährung in den Schweizer Alpen

In-Service Behaviour of Bridges in the Swiss Alps

### **E. REY**

Adjoint

Office fédéral des routes

Berne, Suisse

### **RESUME**

Le comportement en service des ponts est peu influencé par l'action des surcharges extérieures. En revanche, les conditions d'exploitation dont on ne tient souvent pas assez compte — le service hivernal, les grands écarts de température ainsi que les caractéristiques géotechniques du site — sont déterminantes. L'examen des désordres dans une série de cas particuliers est complété par des recommandations à l'intention des constructeurs de ponts.

### **ZUSAMMENFASSUNG**

Das Verhalten der Brücken im Betrieb wird durch äussere Belastung wenig beeinflusst. Massgebend sind hingegen die Betriebsbedingungen — Winterdienst, grosse Temperaturschwankungen und die örtlichen geotechnischen Verhältnisse —, denen oft zu wenig Beachtung geschenkt wird. Die Untersuchung der in einer Anzahl Einzelfällen festgestellten Schäden wird durch Hinweise auf die Gestaltung und Ausführung von Brücken ergänzt.

### **SUMMARY**

The in-service behaviour of bridges is little influenced by the action of exterior load. On the other hand, service conditions which are often not taken into sufficient account, e.g. winter service, sharp temperature fluctuations and geotechnical conditions of the site, are determinant. The examination of damages in a series of cases is rounded off with some recommendations regarding the design and the construction of bridges.



## 1. INTRODUCTION

Le comportement réel des ouvrages étant révélateur de la bonne tenue ou de la faiblesse qu'accusent les éléments de structures en état de service, son examen permet d'en tirer de précieux renseignements indispensables au projeteur pour être en mesure de concevoir de bonnes constructions. Il apparaît par conséquent indispensable de diffuser des informations sur la pathologie des ouvrages avec bien entendu un certain nombre de réserves et de précautions et lorsque les problèmes dont il s'agit ont été examinés, éclaircis et traités.

Le but que nous nous proposons consiste à examiner les désordres constatés sur une série de ponts dans un certain nombre de cas particuliers significatifs et d'essayer d'en tirer des enseignements applicables pour l'étude et l'exécution de nouveaux ouvrages. L'examen en question comprend l'appréciation des dégâts constatés, l'examen de l'origine des désordres, l'exposé des conséquences pour le trafic ainsi que la descriptions des réparations exécutées, pour la remise en état des ouvrages.

L'analyse des désordres est une tâche difficile et, en même temps, une source précieuse de renseignements sur le comportement des ouvrages et dont il convient de tirer profit. De plus, le caractère des désordres constatés fait apparaître la nécessité de maintenir les ouvrages en service sous une surveillance permanente et efficace qui permet de déceler les désordres et leur origine, ceci dans le double but de limiter l'ampleur des travaux de remise en état d'une part et d'autre part, d'assurer la sécurité du trafic.

Relevons que dans la région des Alpes, en raison des conditions climatiques défavorables caractérisées par un fort enneigement et de nombreux cycles de gel et dégel, la chaussée et les ouvrages sont par conséquent particulièrement exposés aux actions destructives des chasses-neige et des sels de dégel, comme le prouvent les constatations que nous pouvons faire. Mentionnons encore que les désordres en question se rapportent à des ouvrages situés sur le réseau des routes du canton des Grisons. Le service des routes de ce canton nous a obligeamment autorisés à consulter sa documentation sur ce sujet.

Avant de passer à l'examen des désordres, il apparaît indiqué de définir la nature et les caractères des problèmes de pathologie, problèmes qui sont eux-mêmes fonction de l'origine des désordres, de leur importance et de leurs conséquences.

## 2. ORIGINE DES DESORDRES

Notons, pour situer le problème, deux tendances qui se dégagent de ces informations; la première est le nombre relativement important des désordres imputables aux phénomènes de corrosion, à la fissuration, à l'action de l'eau d'infiltration, à l'effet du gel au service hivernal et, en général, aux conditions climatiques; la seconde tendance à relever est le fait que de sérieux désordres se sont produits sur des ouvrages qui ne sont pas encore très anciens, entraînant même des restrictions de trafic importantes. Les cas des ponts de Crestawald et du Steilerbach sur la route du San Bernardino peuvent être classés dans cette catégorie.

Les causes des désordres peuvent schématiquement être rattachées à trois origines différentes: la conception, les matériaux et l'exécution. Cette classification s'impose pour apprécier le comportement d'un ouvrage. En pratique, cette classifi-

cation n'est pas toujours facile à appliquer, certains désordres pouvant émaner à la foi de deux ou même de trois origines différentes.

### 2.1 Défauts de conception

En ce qui concerne les défauts de conception, on peut en distinguer deux types principaux, à savoir:

- le choix de mauvaises options - mentionnons à titre d'exemple les fondations mal adaptées aux déplacements admissibles de la superstructure - et l'exécution de revêtements de chaussées sans une protection étanche du tablier contre les infiltrations d'eau et l'effet de la corrosion par le sel de dégel
- un second type de défaut comprend les mauvaises dispositions constructives. Mentionnons notamment les dimensions insuffisantes d'éléments en béton, impropres à permettre une mise en place correcte du béton à l'intérieur des coffrages; l'absence de cheminées de bétonnage; le défaut d'armatures de fissuration; un enrobage de béton insuffisant pour protéger les armatures contre la corrosion. Relevons encore le défaut de drainage des faces supérieures des éléments d'ouvrage - assises d'appuis sur piles ou culées - et d'une façon générale de tous les éléments et spécialement ceux qui ne sont pas visitables. Cette carence conduit à la longue à des dégâts de gel importants. Relevons enfin le choix d'appareils d'équipements mécaniques trop légers et non adaptés aux conditions de service, les joints de dilatation en particulier. Enfin notons encore le défaut de drainage des pots d'encastrement des montants de fixation des glissières de sécurité.

### 2.2 Défauts des matériaux

Un certain nombre de désordres ont pour cause l'utilisation de matériaux de mauvaise qualité ou simplement inadéquate. L'utilisation de ballast dont la granulométrie ne convient pas - comportant trop peu d'éléments fins par exemple - ou l'emploi d'agrégats trop tendres, poreux ou gélifs, de roches schisteuses contenant des micas - et, partant, impropres à la fabrication de béton non gélif, en constituent des exemples.

Notons que le choix de matériaux convenables pour la fabrication de béton pose des problèmes précisément dans les régions alpestres où l'on rencontre souvent trop de roches tendres dans les agrégats - des schistes et des micas - qui n'ont pas encore pu être éliminés par l'effet du charriage. Les résultats de contrôle de charriage dans le Rhin en amont du lac de Constance sont à cet égard très significatifs puisque la teneur en limon dans les alluvions charriées entre le confluent du Rhin antérieur à Reichenau et son embouchure dans le lac de Constance passe de quelques pour cent à nonante pour cent.

Mentionnons encore les chapes minces du support en mortier de ciment appliquées sur le béton des tabliers de pont. Ces chapes ne résistent pas à l'action de la circulation, elles sont rapidement désintégrées sous l'effet du martèlement des essieux lourds. Les morceaux de chapes sont ainsi dissociés du béton de structure, provoquant la perforation de l'étanchéité, conduisant à sa destruction et à celle du revêtement à plus ou moins brève échéance. Par la suite, le béton de structure et le béton du tablier sont exposés directement à l'effet destructif de la corrosion par le sel de dégel.



En ce qui concerne le matériel de conduites de l'évacuation de l'eau, nous citerons les dégâts de corrosion constatés sur du matériel ne résistant pas à l'action des fondants chimiques.

Pour les appareils d'équipement mécanique, relevons l'écrasement d'appuis élastomères par défaut d'adhérence du matériel de support à l'armature métallique.

### 2.3 Défauts d'exécution

D'une façon générale, relevons que les défauts d'exécution constatés sur des ponts dans la région des Alpes sont de même nature que ceux qui affectent tous les ouvrages de cette catégorie. Cependant, ces défauts et leur fréquence en particulier exercent une influence directe sur la qualité des ouvrages et, partant, sur le coût de leur entretien.

On peut distinguer entre les défauts d'ordre dimensionnel - écarts supérieurs aux tolérances -; les défauts de mise en oeuvre des matériaux - la présence de nids de gravier ou de fissuration au droit de mauvais joints de reprise avec pour conséquence l'apparition d'efflorescences et de suintements sur les parements -; les défauts de pose d'appareils d'équipement mécaniques, entraînant des blocages d'appuis mobiles ou le martèlement de joints de transition. On a également constaté des déboitements des conduites d'assèchement du tablier avec pour effet une accumulation d'eau à l'intérieur de caissons ou autres évidements inaccessibles et des dégâts de corrosion importants sur le fond de ces éléments.

En ce qui concerne les chapes d'étanchéité, relevons les dommages, les décollements, les soulèvements, les fissurations et perforations, avant tout lorsque leur adhérence au support fait défaut.

### 3. CAS PARTICULIERS

Le comportement des ponts en service dans les Alpes est moins influencé par les surcharges extérieures, c'est-à-dire par les charges utiles pour lesquelles ils sont dimensionnés que par les conditions climatiques - le déneigement par le sel qui, pour des raisons de sécurité du trafic et de commodité, a tendance à se développer et également à cause des nombreux cycles de gel et de dégel ainsi que des grands écarts de température - dont on ne tient pas compte assez souvent. De plus, les conditions géotechniques du site - le comportement de versants en reptation et l'ampleur des tassements des fondations - exercent dans ce domaine une influence déterminante sur la tenue des ouvrages. Les désordres que nous avons pu constater se rapportent à des ponts situés dans la région des Alpes orientales. Il sont illustrés ci-après par une série de vues de dégâts significatifs qui se sont produits à divers éléments d'ouvrages.

Dégradations des assises d'appuis, salissures et efflorescences sur les murs de culées.

Dégâts dus aux joints de dilatation non étanches (fig. 1).

A noter la disposition des appuis, incontrôlables et inaccessibles.

Pont sur le ruisseau de Suretta à Sufers, altitude 1420 m, N 13c, section Andeer - Splügen. Année de construction: 1959. Les désordres ont été réparés en 1972.



Fig. 1 Dégradations à l'infrastructure

Exemple de corrosion des murs de culée d'un ouvrage par suite de l'action du gel et des fondants chimiques (fig. 2).

A noter que l'eau s'infiltré par les joints de dilatation et que les appuis sont inaccessibles.

Passage inférieur de la jonction de Splügen, altitude 1450 m, N 13c, section Andeer - Splügen. Année de construction 1965. Les désordres ont été réparés en 1970.



Fig. 2 Exemple de dégât de gel

Destruction du revêtement et du béton de structure due à l'action du gel et des fondants chimiques par suite du défaut d'un dispositif d'étanchéité (fig. 3).

Pont de Giustia à Marmorera, altitude 1684 m, route du Julier, section Bivio - Marmorera. Année de construction: 1958

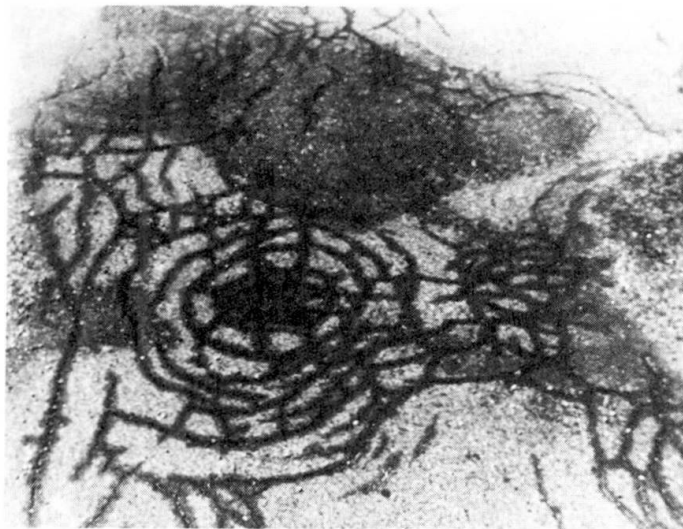


Fig. 3 Destruction du revêtement





La figure 4 montre l'état de la dalle du tablier en béton après l'enlèvement du revêtement en mortier bitumineux.

La remise en état a entraîné la démolition du revêtement en mortier bitumineux, le piquage du béton sur 10 cm d'épaisseur et son remplacement, le renforcement de l'armature de la dalle de roulement et la pose d'une couche d'étanchéité en lès de nylon enrobés d'une masse bitumineuse, adhérente sur le béton de la superstructure. Les désordres ont été réparés en 1974.



Fig. 4 Dégât de gel sous le revêtement

La route du val de Schyn entre Thusis et Davos traverse plusieurs versants instables, entraînant les culées d'ouvrages implantées dans des zones en mouvement.

Un tel déplacement est illustré par l'important décalage - env. 10 cm - entre les bordures de trottoirs sur le joint de dilatation (fig. 5).

Pont du torrent de Cugnal à Sils im Domleschg, altitude 800 m, section Thusis - Tiefencastel, année de construction: 1952.



Fig. 5 Déplacement de culée

La remise en état a nécessité le remplacement des appuis glissants linéaires décalés (fig. 6) par des appuis-pots mobiles en tous sens, les gros efforts dus aux effets d'ordre secondaire ne pouvant pas être repris. Les opérations de remplacement ont été difficiles en raison des mauvaises conditions d'accès aux appareils d'appuis. Les désordres ont été réparés en 1973.

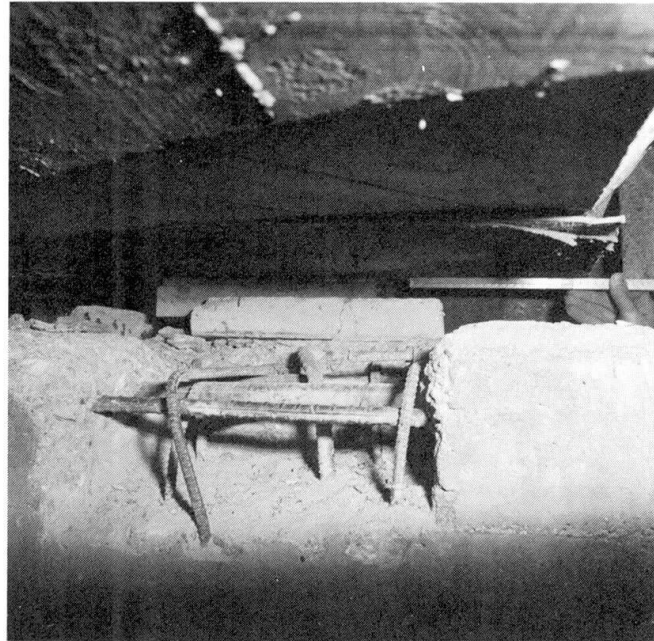


Fig. 6 Appuis déplacés

Destruction de bordure de pont par l'action du gel et des fondants chimiques (fig. 7).

Pont sur le Rhin postérieur à Splügen, altitude 1450 m, N 13c, section Andeer - Hinterrhein. Année de construction: 1962. La remise en état a nécessité le remplacement du cordon et l'application d'une étanchéité de protection. Les désordres ont été réparés en 1978.



Fig. 7 Destruction de bordure de pont





Dégâts de gel au plancher de caissons inaccessibles (fig. 8). Les désordres sont causés par l'action corrosive des sels de dégel. Par suite d'un déboitement de canalisation, l'eau s'est accumulée dans les caissons. La corrosion du béton a atteint 7 cm de profondeur.



Fig. 8 Dégât de gel au plancher de caissons inaccessibles

Destruction par le gel de l'assise d'appuis glissants; dégâts imputables au défaut de drainage des assises (fig. 9).

Pont du Steilerbach, Sufers, N 13c, altitude 1420 m, section Andeer - Hinterrhein, année de construction 1959. La remise en état, exécutée en 1972/73, a nécessité le renouvellement de l'étanchéité, le drainage des caissons et le remplacement des appuis et des joints de dilatation.

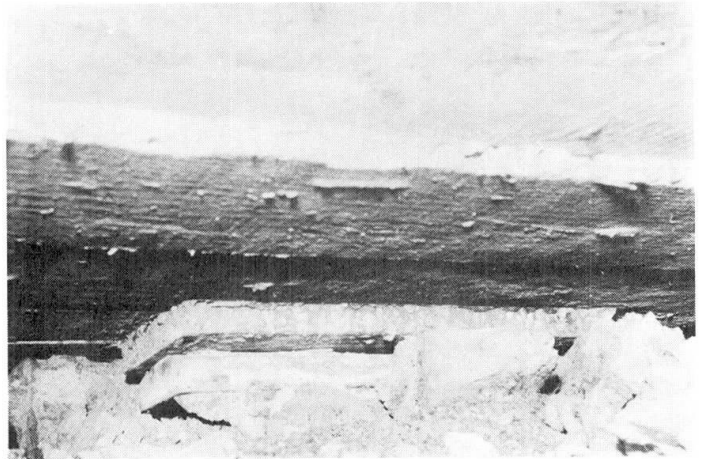


Fig. 9 Désordres aux assises d'appuis

Les joints de dilatation en saillie sur le revêtement sont accrochés au passage par les lames des chasses-neige. Les joints de construction trop légère ne résistent pas aux sollicitations répétées du service hivernal (fig. 10).

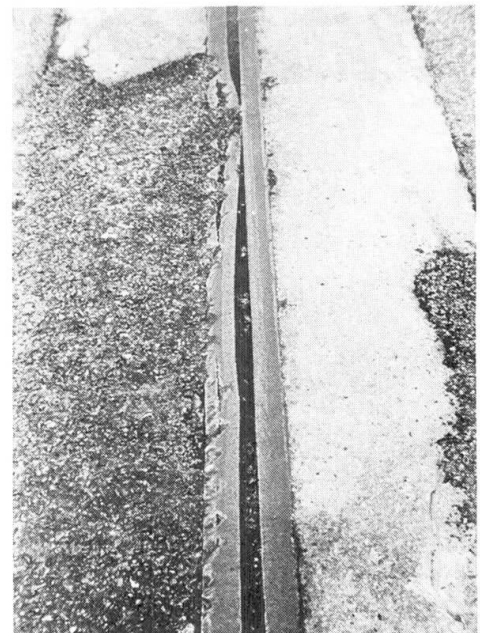
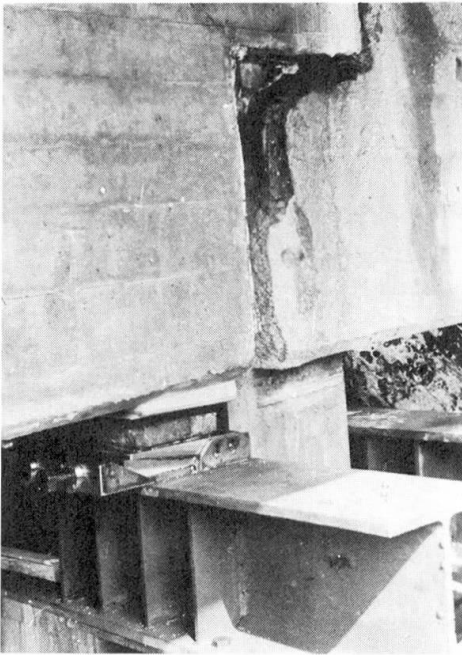


Fig. 10 Joint de dilatation endommagé



En outre, les articulations Gerber du même ouvrage ont été gravement endommagées par suite des infiltrations d'eau de ruissellement pénétrant dans la structure par les ouvertures des joints de dilatation s'ajoutant aux fuites des canalisations (fig. 11 et 12).

Pont de Crestawald à Sufers, altitude 1400 m,  
N 13c, section Andeer - Hinterrhein, année de  
construction: 1958

Fig. 11 Détail de l'articulation endommagée

La remise en état de l'ouvrage a nécessité le remplacement des appuis endommagés, la pose de nouveaux joints de dilatation étanches ainsi que le renouvellement de l'étanchéité et du revêtement du tablier. Les désordres ont été réparés en 1972/73.

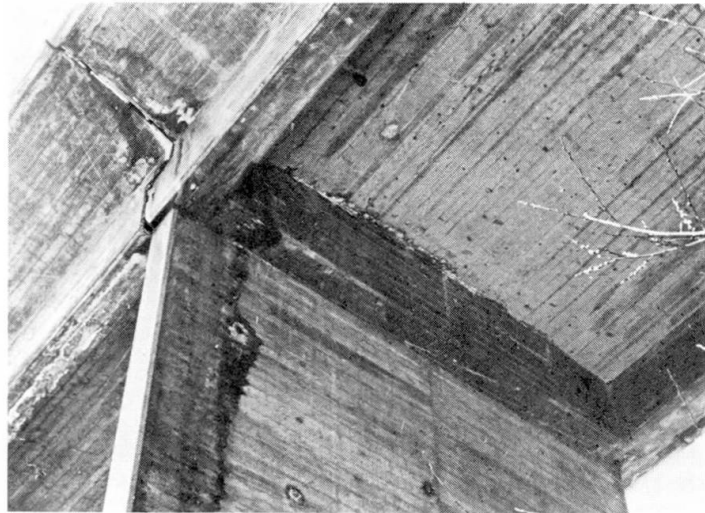


Fig. 12 Vue de l'articulation depuis dessous avant sa remise en état

#### 4. RECOMMANDATIONS POUR L'ETUDE DE NOUVEAUX OUVRAGES

Les recommandations suivantes se limitent à l'énumération des principales mesures à observer en vue d'améliorer la qualité et la durabilité des ouvrages. Elles ne sont pas exhaustives. Pour plus de détails, le lecteur se reportera à la littérature citée en référence, cf. [1], [2], [3].



#### 4.1 Au stade de l'étude

##### 4.1.1 Infrastructure

- On donnera aux ouvrages des formes simples et des dimensions suffisantes, propres à permettre une exécution correcte.
- Le risque de corrosion est particulièrement grand dans les parties d'ouvrage situées aux points de contact entre l'air et l'eau, ou entre l'air et le terrain. Il faut tenir compte de ce fait lors du choix des matériaux et des moyens de protection contre la corrosion.
- Pour assurer aux armatures une protection contre la corrosion, on prévoira un enrobage de béton suffisant.
- Tout enrobage de plus de 50 mm exige que l'on prenne des précautions contre l'éclatement de la surface, p.ex. en mettant en place une armature de fissuration.
- Les faces supérieures des ouvrages doivent présenter une pente continue et suffisante (au moins 8 %). Tous les espaces vides doivent être accessibles; ils doivent donc mesurer au minimum 0,70 m de largeur et 1,50 m de hauteur.
- Les assises d'appui des piles et culées doivent être parfaitement drainées. Il en est de même des zones de transition aux extrémités du pont.
- Les matériaux mis en remblai derrière les culées, murs de soutènement et murs en aile, doivent permettre à l'eau qu'ils contiennent de s'écouler librement sans entraîner de particules de matière.
- Les rigoles et canalisations d'écoulement doivent être largement dimensionnées et aboutir à un exutoire.

##### 4.1.2. Superstructure

###### Généralités

- Les surfaces qui sont exposées aux intempéries tout en étant dépourvues de protection doivent être aussi limitées que possible.
- L'ouvrage doit être conçu de manière à ce que toutes ses parties soient accessibles aisément et sans frais excessifs, pour les besoins de la surveillance et de l'entretien.
- La transition entre le pont et la route doit se faire à l'aide d'une "dalle de transition".
- Les canalisations d'évacuation des eaux auront un diamètre intérieur d'au moins 200 mm. Elles seront munies, au moins à leurs extrémités, d'une ouverture de nettoyage.
- Tous les espaces libres seront bien drainés et aérés.



### Construction massive en béton ou en maçonnerie

- On donnera à toutes les parties de l'ouvrage des formes simples, et des dimensions suffisantes, propres à permettre une exécution correcte.
- Toutes les arêtes du béton doivent être chanfreinées au moyen d'un liteau triangulaire mis dans le coffrage. Il convient d'éviter, dans la mesure du possible, que deux faces de béton forment à leur intersection un angle aigu.  
Les éléments en béton armé doivent avoir une épaisseur d'au moins 0,15 m.
- Les faces supérieures des ouvrages doivent présenter une pente suffisante (au moins 4 %).
- On veillera à ce que les plans d'armature permettent une exécution convenable du ferrailage et une mise en place correcte du béton.
- A l'armature résultant des calculs de résistance, on ajoutera au besoin une armature complémentaire destinée à limiter la fissuration.
- Les barres d'armature et les câbles de précontrainte seront disposés de façon à ménager tous les 50 cm des mailles larges d'au moins 0,12 m, destinées à permettre dans de bonnes conditions la pervibration du béton.

### Construction en acier

- Les divers éléments des ouvrages doivent avoir des formes simples et des dimensions suffisantes, de telle sorte que leur fabrication et leur entretien s'en trouvent facilités.
- Dans la disposition des ouvrages en acier, il convient d'éviter les recoins où pourraient s'amasser l'eau et la saleté.
- On choisira la disposition des soudures et l'ordre de leur exécution de manière à limiter dans toute la mesure du possible l'apparition des contraintes internes que la soudure engendre dans l'acier.
- L'improvisation sur le chantier conduit souvent à des dommages entraînant une augmentation des frais d'entretien. C'est pourquoi, au stade de l'étude déjà, l'auteur du projet doit se préoccuper du mode d'exécution et de transport des divers éléments de l'ouvrage.
- Une protection antirouille bien conçue et bien appliquée prolonge la durée de service et réduit sensiblement les frais d'entretien des ouvrages en acier.
- Les surfaces d'acier seront nettoyées au jet de sable ou par un procédé équivalent. La couche de fond de la peinture sera appliquée immédiatement après le nettoyage.
- La couche de fond et les couches suivantes de la peinture doivent être choisies de telle manière qu'elles assurent une adhérence parfaite entre elles. Toute couche de fond qui aura été exposée pendant un certain temps aux intempéries devra être soigneusement débarrassée des parties altérées (p.ex.: du carbonate de zinc).



#### 4.1.3 Tablier et chaussée

- La surface de la dalle du tablier des ponts-routes doit présenter en chaque point une pente nettement marquée (2,5 ‰ au minimum, exceptionnellement 2 ‰).
- L'ouvrage et en particulier les éléments exposés aux intempéries doivent être protégés par un revêtement étanche pour empêcher les infiltrations d'eau ou de solutions agressives.
- Dans les ponts-routes, les parapets et les parties en encorbellement sont particulièrement exposés aux effets des intempéries et du sel antigel. On prendra toutes mesures pour que le béton de ces éléments soit spécialement résistant.

#### 4.1.4 Appuis, articulations, ouvrages de transition

- Les piles, les culées et le tablier doivent être construits de telle façon qu'il soit possible en tout temps de remplacer les appuis défectueux. Ces dispositifs doivent être clairement indiqués dans les plans d'exécution.
- Les appuis et articulations doivent être surélevés de manière à empêcher autant que possible la pénétration de l'eau. Ils doivent être aisément accessibles de tous les côtés afin d'être faciles à surveiller.
- Les éléments exposés à l'usure doivent pouvoir être remplacés facilement.

#### 4.2 Au stade de l'exécution

On utilisera des agrégats non gélifs. Les principaux facteurs qui affectent la durabilité du béton sont avant tout sa composition (y compris les adjuvants et en particulier les entraîneurs d'air), un temps de malaxage correct, le coffrage, le compactage, la cure, et l'enrobage suffisant des armatures. Les bétons de construction fortement exposés au gel et aux sels de dégelage exigent en outre des mesures de protection supplémentaires pour garantir une bonne durabilité. Il s'agit notamment d'imprégnations, de peintures, d'enduits ou de glaçages. Dans chaque cas, le problème crucial est d'obtenir une liaison suffisante avec le béton.

#### Références

1. Inspections périodiques des ponts: Directive relative à l'art. 34 de la norme S.I.A. 160 (1970).
2. A.B. Harnik (1977): Frost. Tausalz-Einwirkungen auf Beton, publication no 23 GPC/S.I.A. 81 - 91.
3. Prof. Dr. A. Rösli (1978): Schutz von Beton gegen Frost- und Frost/Tausalz-Schäden, Zwischenbericht des Institutes für Baustoffe, Werkstoffchemie und Korrosion.