

Conception des ponts

Équipements des ponts

par **Jean-Armand CALGARO**

Ingénieur général des Ponts et Chaussées

Professeur au Centre des hautes études de la construction

Membre permanent du Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable (CGEDD)

et **Anne BERNARD-GELY**

Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées

1. Étanchéité et couche de roulement	C 4 500v2 – 2
2. Joints de dilatation	— 2
3. Dispositifs de retenue pour les ponts routiers	— 3
4. Corniches	— 6
5. Appareils d'appui	— 6
6. Évacuation des eaux	— 7
7. Autres équipements	— 8
Pour en savoir plus	Doc. C 4 500v3

Les équipements des ponts couvrent un ensemble de dispositifs de nature, de conception et de fonctionnement très divers, dont le but est de rendre un tablier de pont apte à remplir sa fonction, notamment vis-à-vis des usagers. Ces dispositifs, parce qu'ils n'ont pas la pérennité de la structure elle-même, ne sont généralement pas liés définitivement à l'ouvrage et remplissent un certain nombre de fonctions. Ils permettent d'assurer la sécurité et le confort des usagers (qualité de la chaussée, dalles de transition entre les remblais et les culées, bordures de trottoirs et dispositifs de retenue, à savoir garde-corps, glissières et barrières), de protéger la structure et ses abords (étanchéité, évacuation des eaux, protection des talus par des perrés, etc.) tout en favorisant son bon fonctionnement (appareils d'appui, joints de dilatation). Enfin, les corniches ont un rôle principalement esthétique et les écrans acoustiques éventuels améliorent le confort des riverains.

Tous les équipements doivent être accessibles pour pouvoir contrôler leur état. Par rapport à la structure porteuse, les équipements sont caractérisés par une durée de vie moindre, non seulement parce qu'ils sont sujets à usure ou vieillissement, qu'il s'agisse de l'étanchéité, des joints de dilatation (directement soumis aux effets du trafic) ou des appareils d'appui, mais aussi parce qu'un sur-dimensionnement n'offrirait pas une meilleure garantie de durabilité dans certaines conditions environnementales défavorables. Il convient donc d'adopter des dispositions permettant de les réparer facilement ou, plus généralement, de les remplacer dans de bonnes conditions.

Enfin, les équipements ont une importance économique réelle : ils représentent de 8 à 12 % du coût total d'un pont au moment de sa construction et peuvent, dans certains cas limites, atteindre 25 à 30 %. Mais, surtout, ils représentent environ 36 % de son coût d'entretien.

1. Étanchéité et couche de roulement

■ La pénétration de l'eau à l'intérieur du tablier (eau de pluie, eau de lavage et, surtout, eau chargée de sels anti-verglas dans le cas des ponts routiers) entraîne des risques graves de corrosion des armatures en acier (passives et actives) et doit être évitée, quel que soit le matériau utilisé. Pour cela, on recourt généralement à une **chape d'étanchéité** (représentant 2 à 3 % du coût de l'ouvrage neuf), disposée sur la dalle de béton, ou à un complexe étanche sur les platelages métalliques (platelages orthotropes).

Si la circulation est faible, une couche de 10 mm d'un mélange d'asphalte et de bitume peut donner de bons résultats. Si la circulation est importante, il faut recourir à des solutions plus élaborées : par exemple, une chape épaisse en asphalte coulé, ou une chape mince constituée d'un film adhérent au support, ou encore des feuilles préfabriquées bitumineuses, etc.

Quel que soit le procédé employé, des précautions très strictes doivent être prises à l'exécution pour que l'étanchéité soit réellement imperméable et durable.

■ La **couche de roulement** qui vient au-dessus de la chape d'étanchéité est constituée le plus souvent d'une couche de béton bitumineux de 4 à 5 cm d'épaisseur. Sur les itinéraires à forte circulation, il faut prévoir la possibilité d'ajouter une deuxième couche portant l'épaisseur totale à une dizaine de centimètres. Des indications sur ces questions sont données dans la documentation du Sêtra (Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements). Les principales techniques d'étanchéité en usage en France sont les suivantes :

- la **technique à base d'asphalte** (de 1 à 3 cm d'épaisseur) mise en œuvre « à chaud » (environ 200 °C) (figure 1) ;
- la **technique de la feuille préfabriquée mono-couche ou complétée par une couche d'asphalte gravillonné** (figure 2) ;
- la **technique par « Moyens à haute cadence » (MHC)**, moyens permettant de mettre en œuvre simultanément le système d'étanchéité et une couche de roulement de 4 cm d'épaisseur environ (figure 3).

■ Face à la nécessité d'une évaluation de la performance et de la durabilité des divers produits ou systèmes proposés par les fabricants, les **critères de choix** s'appuient sur des normes européennes (EN 13707/13859/13956/13969/13970/13984/13987/14909/14967) et sur la procédure des Avis Techniques.

Un Avis Technique est un document d'information destiné à fournir aux divers intervenants une opinion autorisée sur le comportement prévisible des produits, procédés et matériels concernés, émis par une commission d'experts (administration, maîtres d'ouvrages et professionnels).

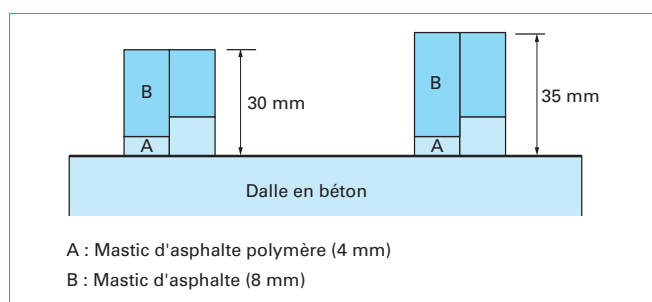


Figure 1 – Chape épaisse – Schéma des deux principales combinaisons

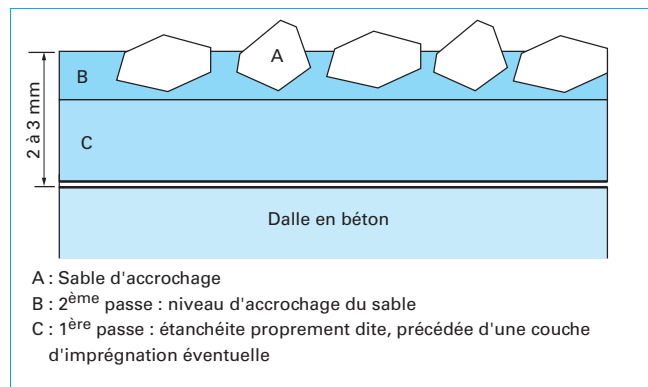


Figure 2 – Composition d'une étanchéité par film mince

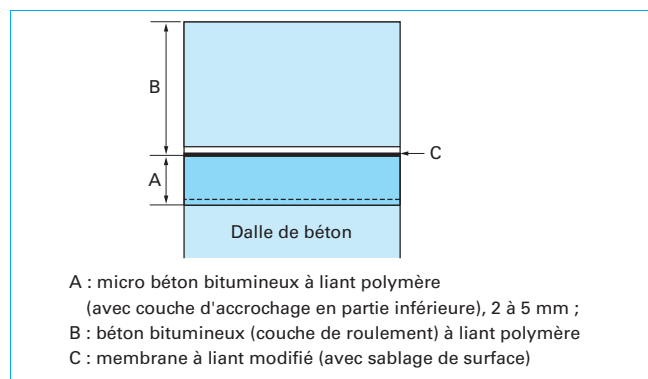


Figure 3 – Composition d'un complexe MHC

L'Avis Technique national est destiné à être remplacé par un Agrément technique européen (ATE) selon une procédure, à base de guides (ETAG – European Technical Approval Guide-line), établie par l'organisme européen d'agréments techniques (EOTA – European Organisation for Technical Approvals).

2. Joints de dilatation

Les joints de dilatation sont les dispositifs permettant d'assurer la continuité de la circulation au droit d'une coupure du tablier. De tels joints existent au moins aux extrémités des tabliers, quel que soit leur type.

■ Lorsque les tabliers sont très longs, des joints intermédiaires sont prévus pour limiter l'amplitude des variations de longueur, dues à la température ou aux effets différés, dans le cas des structures en béton (retrait, fluage), et l'intensité des efforts transmis en tête des appuis.

La longueur maximale de tablier continu sans joint de dilatation est couramment de l'ordre de 500 à 600 m, mais, en recourant à des joints spéciaux, cette longueur peut être portée à 800 ou 900 m.

■ Les joints sont des points faibles, à travers lesquels l'eau peut pénétrer dans la structure. On limite leur nombre autant que possible en préférant des structures continues ou rendues partiellement continues. En particulier, dans le cas des ponts à poutres précontraintes par post-tension, les travées sont systématiquement attelées par groupes de trois ou quatre (continuité de la dalle de couverture), de sorte que les joints de chaussée ne sont disposés que tous les 150 à 200 m.

L'agressivité dynamique du trafic routier endommage progressivement les joints par fatigue. Ils doivent donc être remplacés à intervalles réguliers.

■ Des **types de joints très variés** ont été expérimentés et mis au point par divers fabricants. On peut les regrouper actuellement en **quatre familles** :

- les **joints à pont souple** ;
- les **joints à pont à peigne en porte à faux** (figure 4) ;
- les **joints à lèvres** et remplissage du vide par un matériau assurant l'étanchéité (figure 5) ;
- les **joints non apparents** sous revêtement normal ou amélioré.

■ **Suivant l'intensité de la circulation**, il convient de choisir :

- un **joint léger** (pour un trafic inférieur à 1 000 véhicules lourds par jour) ;
- un **joint semi-lourd** (pour un trafic compris entre 1 000 et 3 000 véhicules lourds par jour) ;
- un **joint lourd** (plus de 3 000 véhicules lourds par jour).

Comme dans le cas des étanchéités, une procédure d'avis technique national existe pour faciliter le choix de joints de chaussée et de trottoirs adaptés à l'ouvrage projeté.

À noter, ici encore, que des guides d'Agréments Techniques européens sont en cours de mise au point (EOTA) dont l'un des objectifs est l'attribution du marquage CE aux produits.

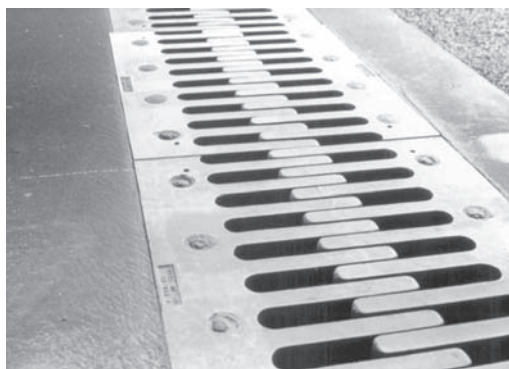


Figure 4 – Exemple de joint à plaques appuyées avec éléments glissant sur un support et un peigne (Source Sétra)

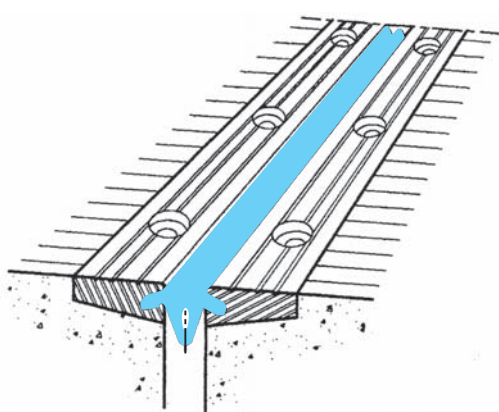


Figure 5 – Exemple de joint à hiatus doté d'un matériau de remplissage

■ Les **variations d'ouverture du joint** sont dues essentiellement aux :

- variations de longueur du tablier provoquées par la température ;
- rotations sur appui, du fait de la flexion du tablier ;
- tassements éventuels ;
- retrait et fluage des poutres en béton précontraint.

■ Le **souffle à prévoir pour le joint**, c'est-à-dire la différence d'ouverture entre la position la plus fermée et la position la plus ouverte, est de l'ordre de $5 \cdot 10^{-4}$ à $6 \cdot 10^{-4}$ de la longueur dilatable, ce qui correspond à une variation de température d'environ 50 °C.

Pour le dimensionnement des joints de chaussée (de même que pour le dimensionnement des appareils d'appui), l'écart caractéristique de température à prendre en compte ($T_{e,min}/T_{e,max}$) est défini à partir d'une température moyenne (ou probable), notée T_0 . En l'absence de toute spécification liée à l'ouvrage considéré, la norme NF EN 1991-1-5 (Eurocode 1, Partie 1-5 – Actions thermiques) suggère l'intervalle suivant de valeurs extrêmes de températures $T_{e,max} - T_{e,min} + 2S$ (figure 6).

Exemple. La valeur recommandée pour S est la suivante : si T_0 , température normalement prévisible au moment de la mise en fonctionnement des appareils d'appui, est connue, S peut être prise égale à 10 °C. Dans le cas contraire, S peut être prise égale à 20 °C.

3. Dispositifs de retenue pour les ponts routiers

Les dispositifs de retenue comprennent :

- les **garde-corps** ;
- les **glissières** ;
- les **barrières**.

■ Les **garde-corps** ont essentiellement pour objet la protection des piétons. Sauf dans des cas particuliers où ils sont spécialement renforcés, ils ne sont pas conçus pour résister au choc accidentel d'un véhicule léger (figure 7).

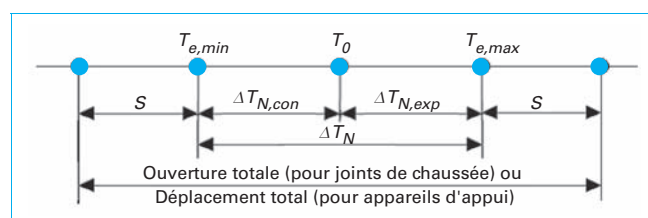


Figure 6 – Variations de température à prendre en compte pour le dimensionnement des joints de chaussée (souffle) et des appareils d'appui

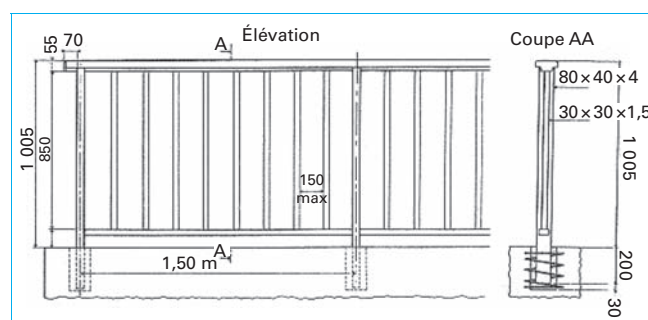


Figure 7 – Exemple de garde-corps à barreaudage vertical

■ Les **glissières** sont des éléments destinés à retenir des véhicules légers dont les conducteurs ont perdu le contrôle. Il existe des glissières souples et des glissières rigides.

- Les **glissières souples** (figure 8) comportent des éléments linéaires portés par des poteaux ; lesquels reprennent l'impact d'un véhicule en perdition en mobilisant leur aptitude, ainsi que celle des poteaux qui les soutiennent, à subir une déformation plastique.
- Les **glissières rigides** (figure 9), généralement en béton, sont basses et retiennent les véhicules par leurs roues. Compte tenu des préjudices qu'elles peuvent porter à l'intégrité mécanique des véhicules, elles sont réservées au milieu urbain, là où la vitesse est limitée.

■ Enfin, les **barrières** sont destinées à empêcher des véhicules lourds de tomber du pont, et à essayer de les remettre, si possible, dans la bonne direction.

■ La **norme NF EN 1317** (qui comporte 6 Parties, la Partie 6 correspondant aux garde-corps) fixe la classification des dispositifs de retenue des véhicules en fonction du niveau de sécurité selon le tableau 1.

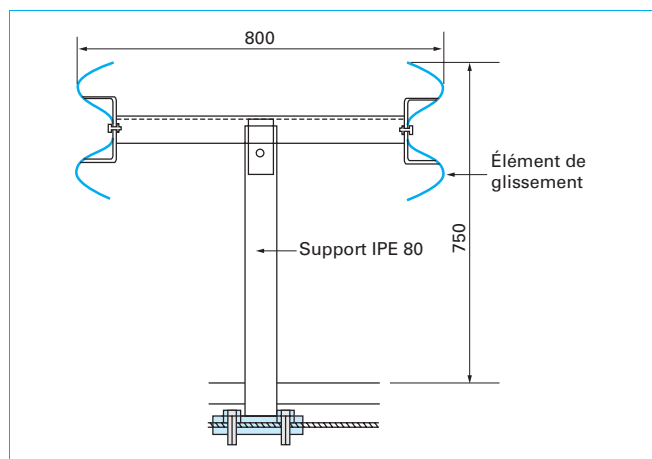


Figure 8 – Exemple de glissière souple (double)

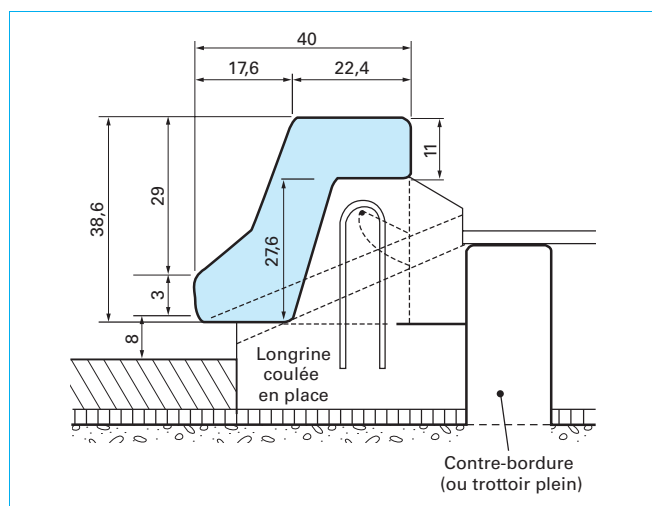


Figure 9 – Exemple de glissière rigide (coupe courante)

■ Pour le **dimensionnement des tabliers de ponts**, le projeteur a besoin de connaître l'intensité des efforts, éventuellement transmis à la structure porteuse par les dispositifs de retenue en cas de choc de véhicule. L'annexe nationale à la norme NF EN 1991-2 (Eurocode 1 – Partie 2, actions dues au trafic sur les ponts) fixe l'intensité de ces efforts. Ils sont indiqués dans le tableau 2 reproduisant le tableau 4.9 (n)(N) de la norme selon la classe des dispositifs de retenue des véhicules. Il s'agit d'intensités correspondant à la résistance locale de la barrière de sécurité (résistance de la fixation de la barrière à la structure, par exemple). Les types de barrières les plus courants, mentionnés dans le tableau 2, sont représentés sur la figure 10.

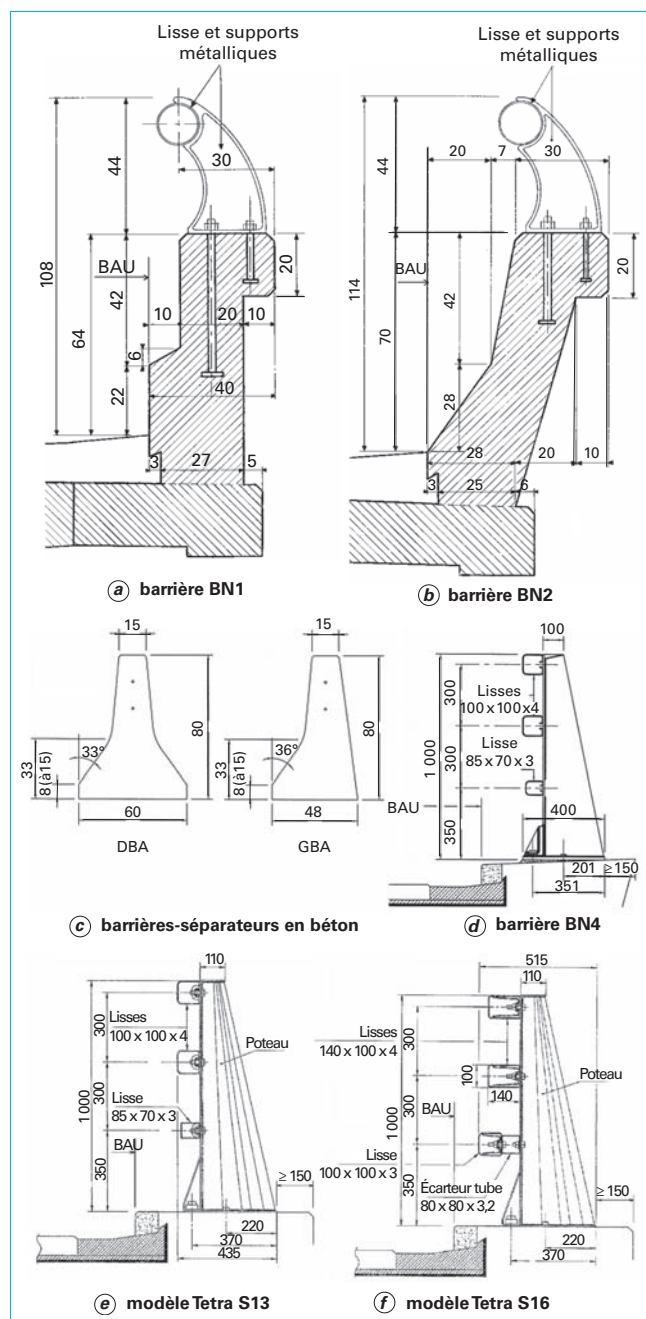


Figure 10 – Exemples de barrières les plus couramment employées

Tableau 1 – Niveaux d'efficacité des dispositifs de retenue selon la norme NF EN 1317

Niveau d'efficacité	Conditions de l'essai d'acceptation		
	Vitesse d'impact (km/h)	Angle d'impact (degrés)	Masse totale du véhicule (t)
N1	80	20	1,5
N2	110	20	1,5
	100	20	0,9
H1	70	15	10
H2	70	20	13
H3	80	20	16
H4a	65	20	30 rigide
H4b	65	20	38 semi-remorque

Certaines dénominations de barrières de sécurité correspondent aux usages établis dans les documents du Sétra.

■ Un des problèmes les plus délicats à résoudre réside dans le raccordement entre deux dispositifs de retenue de rigidités différentes, par exemple entre une glissière et une barrière rigide. Il faut assurer l'homogénéité et la progressivité dans les niveaux de sécurité pour éviter des accidents graves en extrémité ou des chutes à partir de zones à niveau de sécurité insuffisant. On peut assurer le raccordement entre divers modèles de dispositifs de retenue de tous les niveaux : glissière avec garde-corps (figure 11), glissière avec barrière ou barrières entre elles.

La conception du raccordement, dont le principe consiste à modifier progressivement la rigidité du système le plus souple pour devenir équivalente à celle du système le plus rigide, est complexe et doit être définie dès le stade du projet. De plus, les solutions les plus économiques sont souvent désastreuses sur le plan esthétique.

Signalons que certaines barrières en béton armé (barrières BN1 et BN2, encore appelées « muret californien » et « muret de la General Motors »), largement employées il y a quelques années en tant que barrières normales, sont de nouveau à la mode dans la mesure où elles peuvent jouer également le rôle d'écrans acoustiques.

Tableau 2 – Intensité des efforts transmis par les dispositifs de retenue

Classes	Types de dispositifs de retenue des véhicules	Efforts transmis et conditions d'application associées
Dispositifs de retenue de niveau H		
Ha	GBA – DBA	<ul style="list-style-type: none"> • À l'interface avec la structure • Force transversale = 57 kN/ml (570 kN sur 10 m) • Moment $\approx 86 \text{ kN} \cdot \text{m/ml}$ (430 kN \cdot m sur 5 m)
Hb	BN1 – BN2	<ul style="list-style-type: none"> • À l'encastrement barrière-structure • Force transversale = 100 kN/ml (500 kN sur 5 m) • Moment $\approx 50 \text{ kN.m/ml}$ (250 kN \cdot m sur 5 m)
Hc	BN4 classique – BN4 16 t Autres dispositifs de retenue à ancrage équivalent	<ul style="list-style-type: none"> • À l'encastrement de chaque support • Force transversale = 300 kN • Moment = 200 kN \cdot m
Hd	BN4 avec ancrage P avec longrine de répartition	<ul style="list-style-type: none"> • À l'encastrement de chaque support • Force transversale = 150 kN • Moment = 100 kN \cdot m
He	Bhab	<ul style="list-style-type: none"> • À l'encastrement de chaque support • Force transversale = 120 kN • Moment = 110 kN \cdot m
Hf	BN5 sur ancrage traversant ou sur longrine BA solidaire du tablier	<ul style="list-style-type: none"> • À l'encastrement de chaque support • Force transversale = 35 kN • Moment = 19 kN \cdot m
Dispositifs de retenue de niveau N		
Na	Barrières métalliques avec UPN 100 Barrières métalliques avec UAP100 Barrières métalliques avec C100	<ul style="list-style-type: none"> • À l'encastrement de chaque support • Moment transversal = 3,5 kN \cdot m • Moment longitudinal = 15 kN \cdot m
Nb	Barrières métalliques avec IPE 80	<ul style="list-style-type: none"> • À l'encastrement de chaque support • Moment transversal = 7,0 kN \cdot m • Moment longitudinal = 1,3 kN \cdot m
Nc	Barrières métalliques avec C125	<ul style="list-style-type: none"> • À l'encastrement de chaque support • Moment transversal = 6,2 kN \cdot m • Moment longitudinal = 19 kN \cdot m
Nd	Barrières métalliques modèle GCDF	<ul style="list-style-type: none"> • À l'encastrement de chaque support • Moment transversal = 15 kN \cdot m • Aucun moment longitudinal
Ne	Muret MVL	<ul style="list-style-type: none"> • À l'interface avec la structure • Force transversale = 50 kN/ml (300 kN sur 6 m) • Moment = 93 kN \cdot m/ml (280 kN \cdot m sur 3 m)



Figure 11 – Exemple de raccordement (peu esthétique) entre une glissière et un garde-corps (Source JAC)

4. Corniches

Les corniches sont des éléments qui équipent les bords latéraux d'un pont et dont le rôle principal est d'améliorer l'esthétique de l'ouvrage :

- en jouant sur des effets de forme, de proportion, de couleur ;
- en éloignant l'eau des parements verticaux ;
- et en rattrapant les irrégularités de la structure.

Depuis quelques années, le rôle de la corniche s'est orienté très nettement vers l'élément de décoration de l'ouvrage pendant que toutes les autres fonctions (larmiers, fixations du garde-corps...) étaient assurées par d'autres dispositions constructives (figure 12).

En site urbain ou protégé, on recourt de plus en plus fréquemment aux corniches-caniveaux qui assurent, à la fois une fonction esthétique, et une fonction d'évacuation longitudinale des eaux de pluie (figure 13).

5. Appareils d'appui

Les appareils d'appui interviennent directement dans le fonctionnement de la structure. Placés entre le tablier et les appuis, leur rôle est de transmettre les actions verticales dues à la charge permanente et aux charges d'exploitation (charges routières ou ferroviaires) et de permettre les mouvements de rotation (effets des charges d'exploitation et des déformations différées du béton).

■ Les appareils d'appui se répartissent en **trois familles principales** :

- les appareils d'appui **en acier spécialement conçus pour certains grands ponts métalliques**, mais dont l'emploi est de plus en plus rare pour des raisons de coût et d'entretien ;
- les appareils d'appui **en caoutchouc fretté** (figure 14), constitués par un empilage de plaques d'élastomère et de feuilles d'acier (ce sont les plus répandus pour les ouvrages courants et, parfois, pour les grands ponts) ;
- les appareils d'appui **spéciaux ou à pot** (figure 15).

Par le passé, il était fréquent de recourir à des appareils d'appui formés par une section rétrécie de béton traversée par des armatures passives (goujons). Ils portaient le nom d'appuis « Freyssinet » : la section rétrécie de béton se plastifiait sous l'effet des rotations du tablier, mais de tels appuis avaient quand même une durée de vie limitée et leur remplacement par des appareils d'appui en caoutchouc fretté était souvent problématique (coupure des goujons en acier) (figure 16).

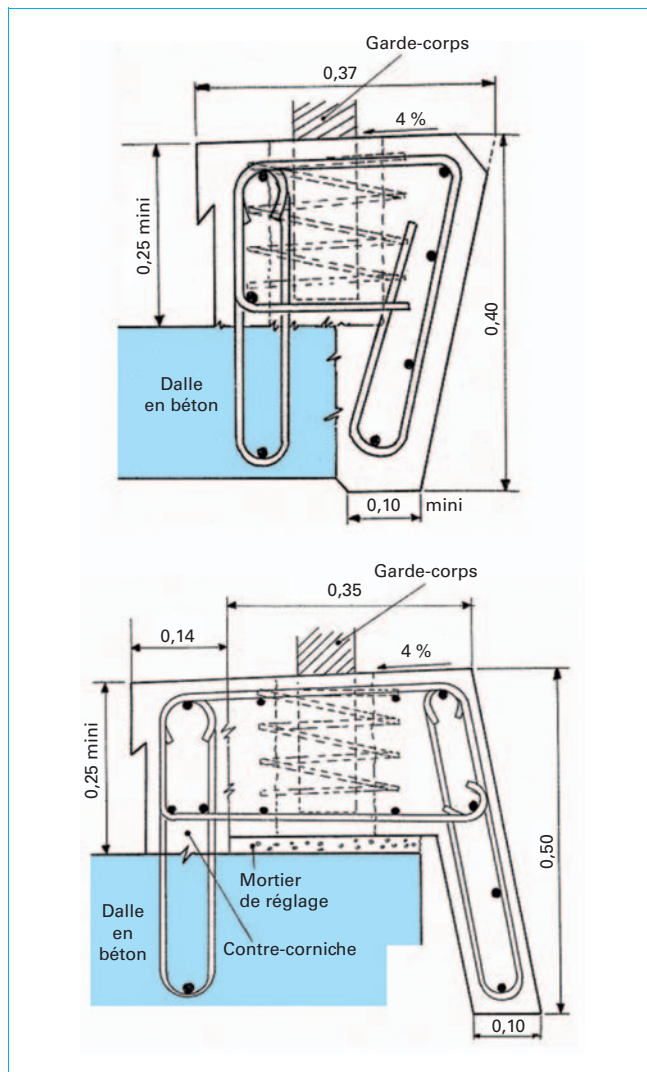


Figure 12 – Exemples de corniches en béton



Figure 13 – Exemple de corniche-caniveau (Pont d'Auray) (Source Sêtra)



Figure 14 – Appareils d'appui en élastomère fretté sous les appuis d'un pont-dalle sur culée (Source JAC)

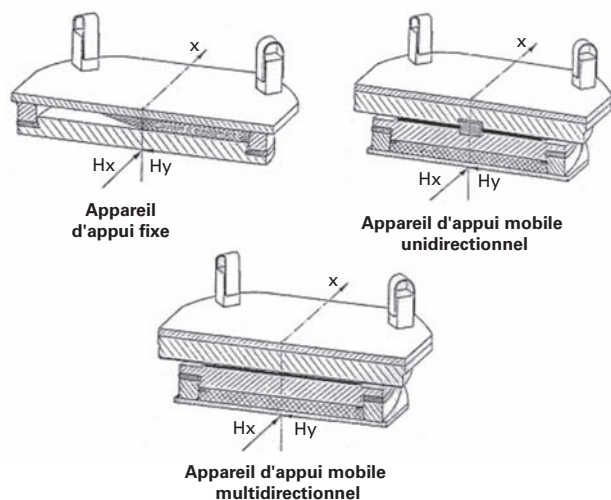


Figure 15 – Exemple d'appareils d'appui à pot

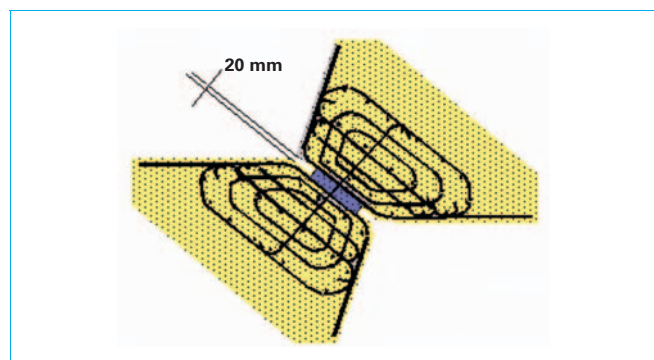


Figure 16 – Schéma de principe d'une articulation « Freyssinet »



Figure 17 – Exemple d'appareil d'appui glissant en élastomère fretté (Source JAC)

■ Les appareils d'appui glissants en caoutchouc fretté sont obtenus en disposant une feuille de *Téflon* à leur partie supérieure. Cette feuille est en contact avec une plaque d'acier inoxydable fixée en sous-face du tablier (figure 17). Le coefficient de frottement entre le *Téflon* et l'acier inoxydable est très faible lorsqu'il est mesuré en laboratoire (de l'ordre de 1 à 2 % de l'effort vertical appliqué) mais, dans le contexte d'un ouvrage, il peut atteindre des valeurs plus élevées et ne plus fonctionner en tant qu'appui glissant.

Les appareils d'appui en caoutchouc font l'objet de spécifications rassemblées dans la norme XP T 47-815 de l'AFNOR.

■ Divers fabricants proposent des **appareils d'appui à pot de qualité**. Ces appareils peuvent reprendre de très lourdes charges et sont donc assez systématiquement prévus pour équiper des ponts de grandes portées. Lorsqu'ils sont correctement posés, leur durée de vie peut dépasser vingt à trente ans.

Mais, ces appareils d'appui ne peuvent être que fixes, mobiles dans une seule direction ou mobiles dans toutes les directions. Il appartient à l'ingénieur de choisir les modèles dans le cadre d'un plan d'implantation tenant compte des déformations en plan potentielles de la structure. Le problème devient rapidement complexe dans le cas d'ouvrages courbes et/ou biais.

Les appareils d'appui sont l'objet de normes européennes (norme EN 1337, comprenant 11 Parties) traitant en partie de leur calcul.

6. Évacuation des eaux

L'objectif d'un système d'évacuation des eaux, qui doit être prévu au niveau de la conception de l'ouvrage, est d'assurer :

- une évacuation rapide des eaux pluviales pour éviter l'inondation de la chaussée ;
- une protection de la structure vis-à-vis des infiltrations d'eau plus ou moins chargées d'agents nocifs.

Le système d'évacuation des eaux de pluie est essentiellement constitué par des gargouilles disposées tous les 20 m environ de part et d'autre de la chaussée ou de la plate-forme ferroviaire (figure 18). Elles recueillent l'eau de surface d'une chaussée qui est le plus souvent profilée en forme de toit (pour une voie routière bidirectionnelle) avec deux versants à 2,5 % ou avec une pente unique (pour une chaussée unidirectionnelle ou bidirectionnelle) de même valeur. L'eau peut être évacuée sans précautions particulières en rase campagne, mais, en site urbain, elle est évacuée à l'aide de chéneaux ou de corniches-caniveaux (figure 19).

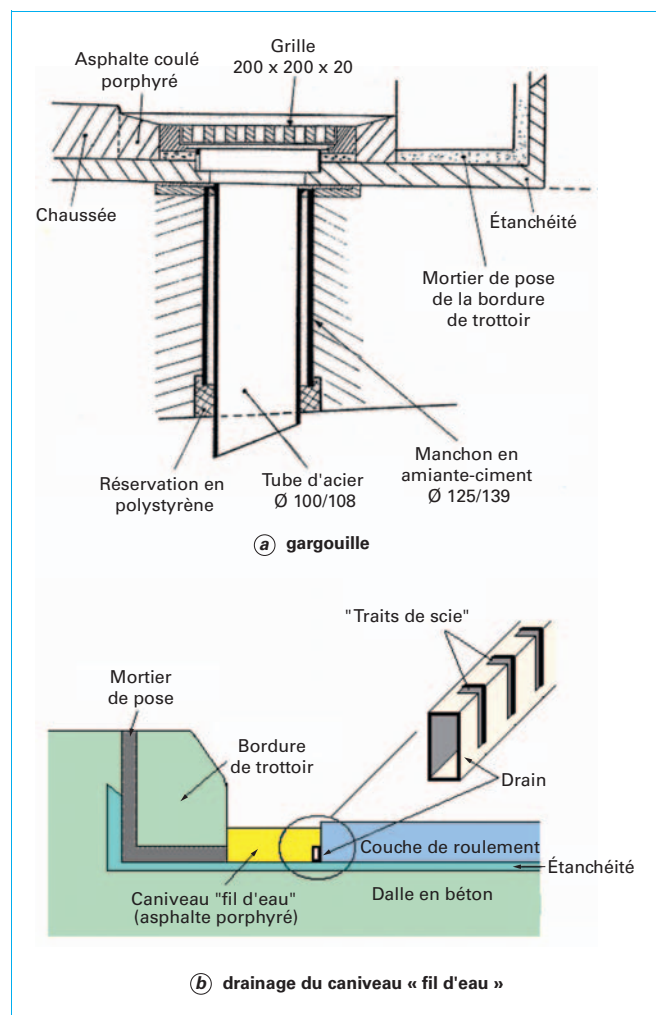


Figure 18 – Éléments du système d'évacuation de l'eau : gargouille et conception du caniveau « fil d'eau »

7. Autres équipements

On citera tout particulièrement les dalles de transition. Elles ont pour but d'éviter la dénivellation qui risque de se produire entre la chaussée courante et le pont, en cas de tassement de remblai. Ce sont des dalles en béton armé, reposant par une de leurs extrémités sur l'ouvrage, et par l'autre sur le remblai d'accès.

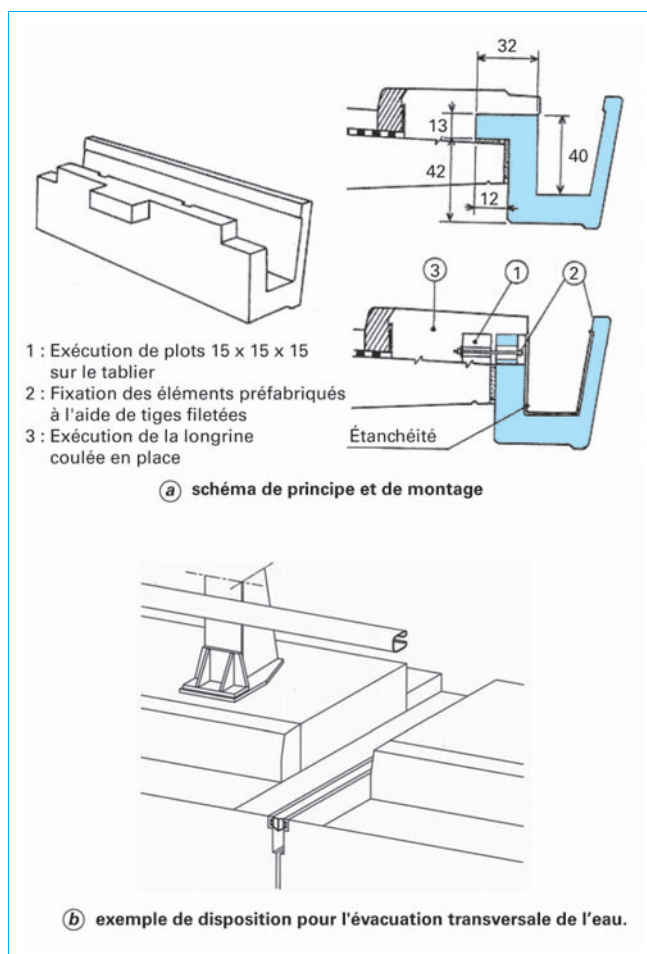


Figure 19 – Exemple de corniche-caniveau

Font également partie des équipements les grilles centrales qui recouvrent l'intervalle entre deux ouvrages parallèles et séparés.

L'éclairage des ponts, lorsqu'il est nécessaire, peut être réalisé de différentes manières. Le système qui paraît le meilleur est l'éclairage par candélabres placés de préférence à l'extérieur ou dans le plan du garde-corps et munis de crosses pour mettre le foyer lumineux au-dessus de la chaussée.

Enfin, les ponts doivent souvent assurer le passage de canalisations de toutes sortes, dont l'emplacement doit être prévu dans le projet et le poids pris en compte dans les calculs.