

CENTRE DE RECHERCHES ROUTIERES
Bruxelles

**Code de bonne pratique
pour la conception et la construction
des revêtements des ponts
à tablier en béton**

Recommandations C.R.R. - R 60/87

Ce Code de bonne pratique a été approuvé par le groupe de travail « Code de bonne pratique pour la conception, la construction et l'entretien des étanchéités et des revêtements des ponts à tablier en béton ».

Composition du groupe de travail :

Président : R. De Keyser Entrepreneur

Secrétaire-rapporteur : C. De Backer Centre de Recherches routières

Membres :

Administration :

P. Bex, J.-Cl. Bourcy, R. Dumont, G. Lefèbvre, G. Platteeuw, J.J. Polen,
J. Van der Veken †

Entrepreneurs :

J. Bockourt, V. Vanderhauwaert, E. Van der Smissen

Organisme de contrôle :

A. Delcorde, J. Steuperaert

Centre belge d'Etudes des Matières plastique et des Caoutchoucs :

R. Degeimbre

Centre de Recherches routières :

Y. Decoene, V. Veverka

Les travaux de recherches qui ont conduit à la mise au point de ce code ont été subsidiés par l'Institut pour l'Encouragement de la Recherche scientifique dans l'Industrie et l'Agriculture (I.R.S.I.A.).

Code de bonne pratique pour la conception et la construction des revêtements des ponts à tablier en béton

Recommandations C.R.R. - R 60/87
du groupe de travail « Code de bonne pratique pour la conception,
la construction et l'entretien des étanchéités et des revêtements
des ponts à tablier en béton »

Publié par le Centre de Recherches routières
Etablissement reconnu par application de l'arrêté-loi du 30 janvier 1947
Boulevard de la Woluwe 42 - 1200 Bruxelles

Tous droits de reproduction réservés

CODE DE BONNE PRATIQUE POUR LA CONCEPTION ET LA CONSTRUCTION DES REVÊTEMENTS DES PONTS A TABLIER EN BETON

AVANT-PROPOS

Le présent Code de bonne pratique propose une série de recommandations pour la conception des revêtements des ponts routiers, la préparation de leur support (tablier), le choix des couches qui les constituent et leur mise en œuvre (couche d'étanchéité, couche de protection, couche de reprofilage, couche de roulement). Il traite aussi des problèmes liés aux accessoires de chaussée et aux dispositifs de collecte des eaux.

Ces recommandations ont pour but d'augmenter les performances de ces revêtements tant en ce qui concerne la protection du pont lui-même qu'en ce qui concerne le comportement des revêtements sous l'action conjuguée du trafic et de l'environnement, notamment des variations saisonnières.

Elles sont le fruit d'une longue expérience acquise sur chantier et de travaux de recherches menés au Centre de Recherches routières depuis plusieurs années dans le domaine expérimental (propriétés mécaniques des couches constituantes) et dans le domaine théorique (détermination des contraintes et des déformations).

Reposant sur de telles bases, les recommandations présentées permettent une conception plus rationnelle des solutions recherchées.

En matière d'ouvrages d'art, ce Code de bonne pratique est à joindre au document intitulé « Renforcement, réparation et entretien des ouvrages d'art. Répertoire de recommandations pour l'établissement des documents d'adjudication » mis au point par un groupe de travail et publié par le Ministère des Travaux publics.

HANDLEIDING VOOR HET ONTWERPEN EN AANBRENGEN VAN BEDEKKINGEN OP BETONNEN BRUGDEKKEN

WOORD VOORAF

In deze Handleiding wordt een reeks aanbevelingen gegeven voor het ontwerpen van bedekkingen op wegbruggen, het gereedmaken van de grondslag waarop zij rusten (het brugdek), de keuze van de lagen waaruit zij bestaan (afdichtingslaag, beschermingslaag, uitvullaag, toplaag) en de manier waarop zij moeten worden aangebracht. Ook het toebehoren van de rijbaan en de waterverzamelinrichtingen komen ter sprake.

Deze aanbevelingen hebben tot doel de prestaties van deze bedekkingen te verbeteren, zowel uit het oogpunt van de bescherming van de brug zelf als uit dat van het gedrag van de bedekkingen onder de gezamenlijke invloed van het verkeer en de milieuomstandigheden (meer bepaald de seizoenschommelingen).

Zij vormen de neerslag van een lange ervaring op bouwplaatsen en van jarenlang onderzoek in het Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw, zowel op experimenteel (mechanische eigenschappen van de samenstellende lagen) als op theoretisch gebied (bepaling van spanningen en vervormingen).

Op grond hiervan kan worden gesteld, dat met de gegeven aanbevelingen een rationeler ontwerp van de gekozen constructieve oplossingen mogelijk wordt.

Deze Handleiding vormt wat kunstwerken betreft een nuttige aanvulling op het document «Versteving, herstelling en onderhoud van kunstwerken – Repertorium van aanbevelingen voor het verwezenlijken van aanbestedingsdocumenten», dat door een Werkgroep is samengesteld en door het Ministerie van Openbare Werken wordt uitgegeven.

RULES OF GOOD PRACTICE FOR THE DESIGN AND CONSTRUCTION OF PAVEMENTS ON CONCRETE BRIDGE DECKS

PREFACE

In the following Rules of good practice a series of recommendations is presented for the design of road bridge pavements, the preparation of their support (i.e. the bridge deck), and the choice and laying of the layers which they are composed of (waterproofing layer, protection layer, regulating course, wearing course). The problems raised by road accessories and water collecting devices are also dealt with.

The recommendations are intended to improve the performance of those pavements both in protecting the bridge itself and standing up to the combined action of traffic and the environment (more particularly seasonal variations).

They have been established by long experience acquired on work sites and through research which the Belgian Road Research Centre has been conducting for several years, both in the experimental field (mechanical properties of pavement layers) and the theoretical field (determination of stresses and deformations).

Being founded on such bases, the recommendations presented in these Rules allow a more rational design of structural alternatives.

Finally, these Rules of good practice are a useful complement to an existing document prepared by a working group and published by the Belgian Ministry of Public Works, which contains recommendations for drawing up tender specifications for strengthening, repair and maintenance works to engineering structures.

HANDBUCH FUER DAS ENTWERFEN UND DAS BAUEN VON BELAEGEN AUF BETONBRUECKENTAFELN

VORWORT

Dieses Handbuch stellt vor eine Reihe von Empfehlungen für den Entwurf von Strassenbrückenbelägen, die Vorbereitung ihrer Unterlage (Brückenüberbau), die Wahl der Schichten aus denen sie sich zusammensetzen und das Einbauen dieser Schichten (Dichtungsschicht, Schutzschicht, Ausgleichsschicht, Deckschicht). Die mit dem Strassenzubehör und den Entwässerungsvorrichtungen verbundenen Probleme werden auch behandelt.

Das Ziel dieser Empfehlungen ist, die Wirksamkeit dieser Beläge zu vergrößern, sowohl in Beziehung auf den Schutz der Brücke selbst, als auch in Beziehung auf das Verhalten der Beläge unter der gemeinsamen Wirkung des Verkehrs und der Umwelt, und besonders des Witterungswechsels.

Sie folgen aus einer langjährigen, auf der Baustelle erworbenen Erfahrung und aus seit mehreren Jahren im belgischen Forschungszentrum für Strassenbau ausgeführten Forschungen im experimentellen Bereich (mechanische Eigenschaften der Schichten der Beläge) und im theoretischen Bereich (Bestimmung der Spannungen und Verformungen).

An solchen Grundlagen gestützt, bieten die vorgestellten Empfehlungen die Möglichkeit einen rationellen Entwurf der Baualternativen zu schaffen.

Hinsichtlich der Kunstbauwerken, dieses Handbuch knüpft sich an das Dokument «Versteifung, Reparaturarbeiten und Instandsetzung von Kunstbauwerken. Repertoire von Empfehlungen für Herstellung von Submissionsdokumenten», das durch eine Fachgruppe ausgearbeitet und durch das belgische Ministerium für offenbare Werke herausgegeben wurde.

CODIGO PRACTICO PARA LA CONCEPTION Y CONSTRUCCION DE LOS REVESTIMIENTOS DE PUENTES DE TABLEROS DE HORMIGON

PROLOGO

El presente Código práctico propone una serie de recomendaciones para la concepción de los revestimientos de puentes viales, la preparación de sus soportes (tableros), la elección de las capas que los constituyen y su puesta en obra (capa impermeable, capa protectora, capa de reperfilado y capa de rodadura). Trata también de los problemas relacionados con los accesorios de la calzada y con los dispositivos de evacuación de las aguas.

Estas recomendaciones tienen por objeto aumentar el rendimiento de estos revestimientos ya sea para la protección del mismo puente o para la de los revestimientos bajo la acción conjunta del tráfico y del medio ambiente, sobre todo de las variaciones estacionales.

Son el fruto de una larga experiencia adquirida en las obras y producto de las investigaciones llevadas a cabo por el Centro de Investigación de Carreteras desde hace ya varios años en el campo experimental (propiedades mecánicas de las capas constituyentes) así como en el dominio teórico (determinación de las tensiones y deformaciones).

Teniendo en cuenta estas bases, las recomendaciones expuestas permiten una concepción más racional de las soluciones que buscamos.

En lo concerniente a las obras de arte, este Código deberá adjuntarse al documento titulado «Refuerzo, reparación y mantenimiento de las obras de arte. Repertorio de recomendaciones para la redacción de documentos de adjudicación» elaborado por un Grupo de trabajo y publicado por el Ministerio de Obras Públicas.

1. INTRODUCTION

Sur un pont routier, la chape d'étanchéité, les autres couches du revêtement et l'ouvrage lui-même, forment un complexe aux influences réciproques. Il a dès lors paru utile de discuter dans le présent document les aspects – tant au niveau du projet que de l'exécution – dont il faut tenir compte, pour chaque élément du complexe, en vue de favoriser la durée de vie de toutes les couches de ce revêtement. La bonne tenue de celui-ci est, en effet, un gage pour la pérennité de l'ouvrage lui-même. **Il est indispensable de définir la structure du revêtement dès la mise au point du projet de l'ouvrage.** En effet, celui-ci fixe les charges permanentes sur le pont. **C'est également à ce moment qu'il convient d'étudier la conception de la dalle de platelage, les détails constructifs des accessoires de chaussée et les dispositifs de collecte des eaux.** Toute modification du projet en cours de construction s'avérera, un effet, toujours plus coûteuse et rarement totalement efficace. Ces éléments doivent être conçus en vue de faciliter la réalisation correcte de l'étanchéité. Ces aspects sont abordés en détail aux chapitres 2 (revêtement), 3 (le pont et son tablier) et 8 (accessoires de chaussée et dispositifs de collecte des eaux). L'annexe 1 présente, à l'intention des auteurs de projets, une courte synthèse de la conception d'un revêtement de pont.

L'étanchéité de la dalle de platelage d'un pont est réalisée soit à l'aide d'asphalte coulé, soit à l'aide de feuilles préfabriquées ou encore dans certains cas particuliers à l'aide de résines. Au sein de chacune de ces familles existe une panoplie de formulations et de produits. Leur choix n'est pas indifférent et dépend entre autres de certaines caractéristiques de l'ouvrage et du type d'actions qu'ils subissent. Le choix de l'étanchéité ainsi que les règles de bonne pratique qui président à leur exécution sont traités au chapitre 4.

Du fait des caractéristiques de la plupart des matériaux d'étanchéité, il n'est pas conseillé de les laisser tels quels exposés aux actions climatiques et mécaniques du chantier. Ces étanchéités nécessitent donc la pose, à bref délai, d'une couche spécifique de **protection**. Le choix de cette couche de protection et les règles relatives à sa mise en œuvre sont abordés au chapitre 5.

Les écarts entre les niveaux des profils théoriques et ceux réellement obtenus à la face supérieure de la dalle de platelage sont souvent importants sur un pont. On a alors le choix entre la correction des profils à réaliser au niveau supérieur du revêtement et le **reprofilage**. Cette problématique ainsi que le choix des matériaux et les recommandations pratiques concernant le reprofilage sont traités au chapitre 6. La mise à niveau des zones «hors chaussées» (trottoirs) est examinée au chapitre 8.

Les **couches supérieures** – en béton armé continu ou en béton bitumineux – surmontant un pont diffèrent peu de celles utilisées sur les chaussées en dehors des ponts. Les quelques aspects spécifiques relatifs aux ponts sont abordés au chapitre 7. Par contre, les matériaux utilisés pour la couche supérieure des revêtements des accessoires de chaussées (trottoirs...) sont à bien des égards différents de ceux utilisés en dehors des ponts. Tout ce qui a trait à leur choix et à leur mode de pose est abordé au chapitre 8.

L'évacuation des eaux à tous les niveaux du revêtement est un problème particulièrement délicat à résoudre. Une bonne partie du chapitre 8 est consacrée à cette question.

Le contrôle, s'il s'exerce à temps, peut le cas échéant permettre de combler des oublis, ou de rectifier certaines erreurs, tant au niveau du projet que de son exécution. Un aide-mémoire à cet usage est joint en annexe 2.

L'entretien et la réparation des revêtements de pont ne sont pas traités dans le présent code de bonne pratique. Nous renvoyons le lecteur intéressé par le sujet à l'excellent document du Ministère des Travaux publics «Renforcement, réparation et entretien des ouvrages d'art – Répertoire de recommandations pour l'établissement des documents d'adjudication» (réf. 1) dont le chapitre II.F. est entièrement consacré à cette question.

En vue d'aider à la compréhension du texte, nous adjoignons, également en annexe 3, un **lexique**, qui reprend les éléments principaux de la terminologie courante relative à la superstructure des ouvrages d'art en béton et à leur revêtement.

Ni la conception, ni l'exécution des revêtements de ponts ne sont choses figées. Il nous a paru intéressant de mentionner également de **nouveaux concepts ou procédés** qui, par leurs aspects, pourraient constituer une alternative, voire une amélioration par rapport aux solutions actuelles. Toutefois, étant donné le manque de recul, voire l'absence d'expérience, il convient de réserver ces applications à des sites expérimentaux. C'est la raison pour laquelle ces alternatives sont présentées en petits caractères dans le texte.

2. LE REVETEMENT

On trouvera dans ce chapitre la description des revêtements de ponts ainsi que celle des actions qu'ils subissent et des effets qu'elles provoquent. Les divers aspects de la conception des revêtements de ponts seront également abordés, à savoir : le choix de la structure et des matériaux qui la composent, la détermination de l'épaisseur et du type de liaison entre couches (adhérence ou non). On abordera enfin le problème des délais à prévoir pour l'exécution des diverses couches de revêtement.

2.1. DESCRIPTIF

Le revêtement d'un pont désigne l'ensemble de toutes les couches qui surmontent la dalle de platelage du pont.

Il comprend au moins les couches suivantes (couches fondamentales) : l'étanchéité, la protection et une couche supérieure. Suivant les nécessités et/ou les possibilités on rencontrera également une couche de glissement, une couche de drainage et une ou des couches de liaison.

2.1.1. Dans la partie «chaussée» (voir figure 2.1.)

Le complexe étanchéité-protection se compose généralement de :

- mono- ou bicouche d'asphalte coulé d'étanchéité surmonté d'une protection également en asphalte coulé ;
- étanchéité en bicouche d'asphalte coulé ou feuille préfabriquée monocouche surmontée d'une protection en béton bitumineux.

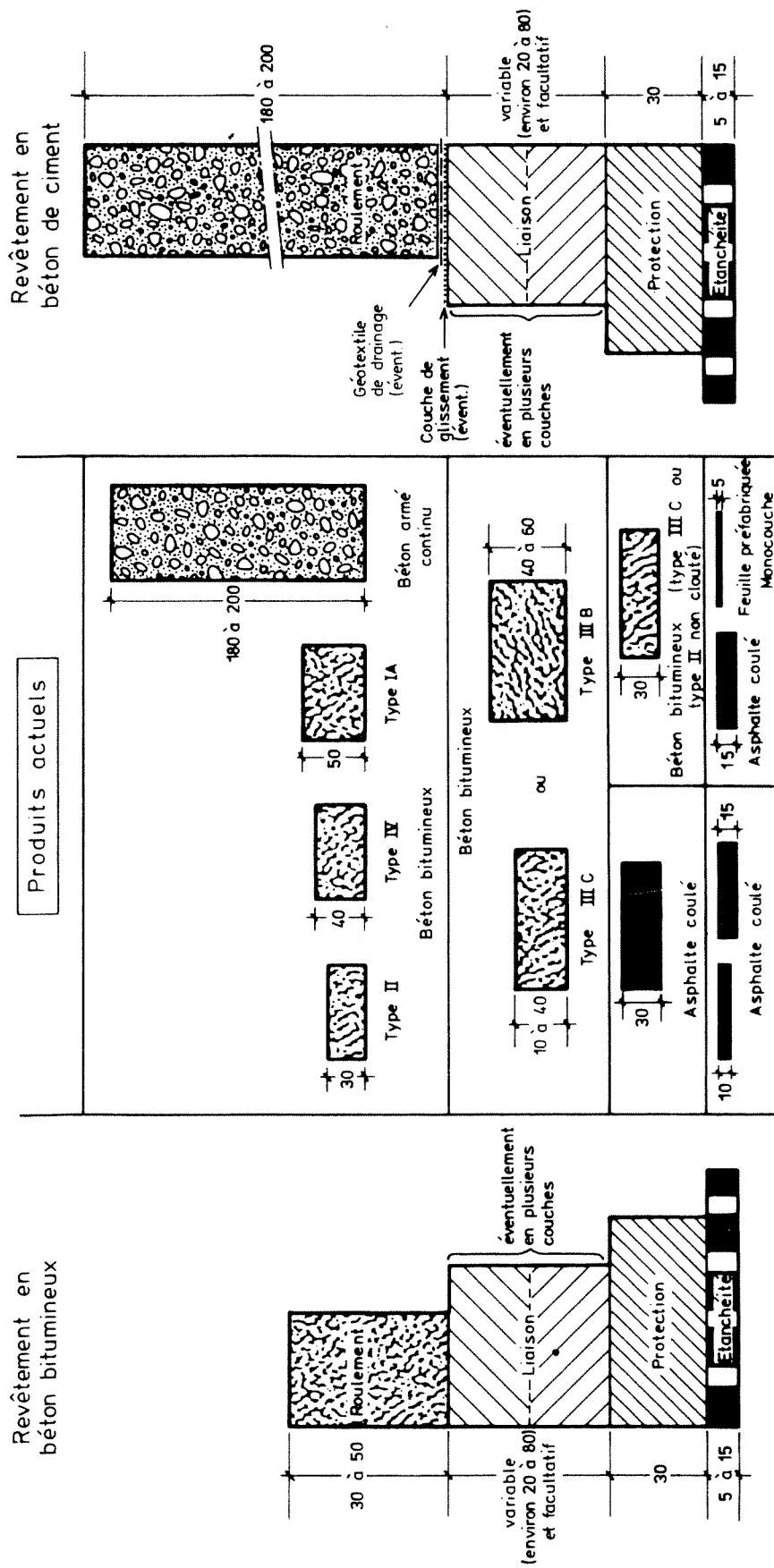
Les couches de liaison sont actuellement toujours réalisées en béton bitumineux ; il en va de même de la couche supérieure, sauf lorsque celle-ci est un béton armé continu.

Les éventuelles couches de glissement et de drainage ne se rencontrent que sous un béton armé continu.

2.1.2. Dans la zone «hors chaussée»

Le complexe étanchéité-protection est l'un de ceux cités ci-dessus pour la chaussée : exceptionnellement, il peut être réalisé à l'aide de résine coulée in situ. Lorsque l'étanchéité est du type feuille préfabriquée, sa protection peut être assurée par une deuxième feuille préfabriquée.

L'éventuelle couche de drainage est d'ordinaire un géotextile adapté à cette fonction. La couche de liaison et la couche supérieure sont réalisées à l'aide de différents matériaux. Ceux-ci seront décrits au chapitre 8.



Note : Les types et épaisseurs des bétons bitumineux sont ceux de la réf. 4

SOC 14.724/3

Fig. 2.1. Coupes types d'un revêtement de pont (en chaussée) et principaux types de matériaux.

2.2. LES ACTIONS ET LEURS EFFETS

Les diverses parties des revêtements de ponts subissent des actions climatiques, mécaniques et physico-chimiques. Celles-ci sont susceptibles d'engendrer la dégradation du revêtement.

2.2.1. Les actions climatiques

Parmi celles-ci, nous distinguerons la température, l'eau et le gel.

2.2.1.1. *La température*

La température conditionne les mouvements et contraintes thermiques au sein des diverses couches du revêtement et influence leurs propriétés (par ex : module des couches à base de bitume).

Il convient de distinguer les revêtements des **ponts à dalle de platelage massive** (supérieure ou égale à 700 mm) des autres. Des mesures effectuées par le C.R.R. ont en effet montré que les températures des revêtements de ponts à dalle de platelage massive ne se différencient que peu de celles apparaissant à la même profondeur dans la chaussée en dehors du pont. Pour ce type de pont on peut donc se référer aux mesures qui ont été faites dans le cadre du dimensionnement des chaussées (réf. **2**). En adaptant les résultats de cette étude au cas des ponts, on trouve les valeurs indiquées au **tableau 2.1.** pour les deux cas les plus courants.

Dans ce tableau, la distribution annuelle des températures est représentée par trois groupes définis par des limites de température. Chaque groupe est à son tour caractérisé par une fréquence d'apparition (proportion de l'année durant laquelle les températures sont situées à l'intérieur du groupe) et par une température représentative (température moyenne pondérée du groupe).

Des données semblables ne sont pas encore actuellement disponibles pour les revêtements de **ponts à dalle de platelage mince** (campagne de mesures en cours). A défaut, on peut s'inspirer des valeurs du **tableau 2.1.**, en augmentant les températures «chaudes» et en diminuant les températures «froides».

Pour les températures engendrées dans la superstructure du pont lui-même, il faut consulter la réf. **3**.

2.2.1.2. *L'eau et le gel*

L'eau en pénétrant dans les matériaux peut en altérer les propriétés, par ex. : désenrobage des produits bitumineux, pourrissement ou gonflement de certains matériaux d'étanchéité (tel le bitume-armé - feutre prévu au § M.2.2. du Cahier des Charges type 150) (réf. **4**). Le gel, agissant sur des matériaux gorgés d'eau, accentuera les désordres : gonflements, désagrégation ou fissuration des matériaux.

TABEAU 2.1.
Températures (°C) des revêtements de ponts à dalle massive (≥ 700 mm)

		Distribution des températures			
		Limite de températures	Froide	Modérée	Chaude
Températures extrêmes		Limites approximatives des temp. du groupe	< 5	5 à 20	> 20
Hiver	Eté	Fréquence d'apparition dans l'année	25%	50%	25%
		Températures représentatives	2,5	12,5	28
			4	13	24

<p>Toutes couches des revêtements dont la couche supérieure est en béton bitumineux</p> <p>70 à 140</p>	<p>Températures extrêmes</p> <p>Hiver: -8</p> <p>Eté: 55</p>
<p>Couches inférieures d'un revêtement dont la couche supérieure est en béton armé continu</p> <p>200 < 300</p>	<p>Températures extrêmes</p> <p>Hiver: -3</p> <p>Eté: 43</p>

Note: valeurs valables pour la Moyenne Belgique

Légende: S : Couche supérieure – L : Liaison – P : Protection – E : Etanchéité

2.2.2. Les actions mécaniques

Les revêtements de pont subissent d'une part les actions mécaniques directes des véhicules, d'autre part les actions du support (dalle de platelage), qui trouvent leur origine soit dans les actions climatiques, soit dans le passage des charges. Ils subissent également les effets du tassement éventuel des remblais adjacents et/ou des appuis du pont.

2.2.2.1. Action directe des véhicules

a) Effets ponctuels des charges

Le descriptif des actions des véhicules à prendre en compte pour examiner leur effet ponctuel sur une quelconque partie du revêtement d'un pont ou des accessoires de chaussée, peut être trouvé à la réf. **3**. On y trouve en effet les valeurs des charges verticales, de leur entredistance, et leur surface d'application, ainsi que les valeurs des efforts horizontaux* (force centrifuge, de freinage et d'impact) s'appliquant suivant le cas à la chaussée, au trottoir ou aux garde-corps et glissières de sécurité. Des données complémentaires concernant les charges verticales (distribution des charges, entredistance et aire de contact) du trafic normal peuvent également être trouvées aux réf. **5** et **6** synthétisant les mesures effectuées entre 1963 et 1965 par le C.R.R. sur le réseau routier belge. Les données concernant les transports exceptionnels, notamment leur composition, peuvent être trouvées à la réf. **7**.

b) Données pour le dimensionnement des revêtements bitumineux

Pour dimensionner les revêtements bitumineux de ponts on prendra en considération un essieu de référence. A l'instar de ce qui est fait pour le dimensionnement des chaussées souples en dehors des ponts, on tiendra compte des aspects suivants, dont on trouvera les détails à la réf. **8**.

- Loi d'équivalence des charges du point de vue des effets destructeurs.
- Distribution statistique des charges dans le réseau routier belge.
- Nombre d'essieux par véhicule commercial.
- Proportion des véhicules commerciaux dans le trafic.

* Efforts tangentiels au niveau du revêtement.

c) Action dynamique des charges

Les charges citées ci-dessus sous a) et b) tiennent compte d'un effet dynamique moyen. S'il est nécessaire de préciser davantage les actions dynamiques directes exercées par les roues des véhicules, on peut consulter la réf. **9** qui présente une méthode de calcul de ces actions dynamiques ainsi que sa vérification expérimentale.

Il convient de souligner que les actions dynamiques locales des charges peuvent être nettement plus élevées par suite notamment soit d'irrégularités des profils, soit de la présence de points de discontinuités du revêtement tels les joints de dilatation, les regards et autres accessoires de chaussées souvent dénivelés par rapport au revêtement adjacent.

d) Actions particulières lors de la mise en œuvre du revêtement

Outre l'action des véhicules d'approvisionnement des matériaux, les couches inférieures du revêtement (étanchéité, protection) subissent l'action de la finisseuse et des compacteurs. Il peut en résulter de sévères actions tangentielles sollicitant d'autant plus fortement les deux couches que ces actions coïncident avec un choc thermique élevé (voir actions physico-chimiques, § 2.2.3.).

2.2.2.2. *Actions exercées par le support (platelage)*

Les actions exercées par le support sur son revêtement proviennent principalement de ses déformations et mouvements ; signalons également que l'inclinaison du support peut engendrer des actions indirectes au niveau du revêtement.

a) Les déformations structurelles de l'ouvrage

La superstructure du pont se déforme sous l'effet du passage des charges, des variations de température et du fluage. Ces déformations verticales engendrent des flexions dans le complexe formé par la superstructure du pont et le revêtement, qui elles-mêmes se répercutent au niveau du revêtement sous forme de contraintes et de déformations horizontales. Pour plus de détails à ce sujet, il convient de consulter les réf. **10** et **11**. Ces déformations de flexion peuvent être particulièrement importantes au droit des dalles souples joignant les travées isostatiques.

Dans le cas particulier d'un revêtement en béton armé continu, des efforts horizontaux peuvent être transmis, par frottement, au revêtement, suite au processus de dilatation-retrait de la superstructure du pont, le béton armé continu restant, lui, immobile.

b) Les vibrations

Les vibrations du pont viennent se superposer aux déformations structurelles statiques envisagées sous a). Elles se répercutent également au niveau du revêtement. Leur effet sur la tenue de ce revêtement peut cependant généralement être négligé (cf. réf. **12**).

c) Les mouvements des fissures du support

Sous l'effet des mouvements du support cités ci-dessus en a) et b), les fissures actives du support subissent des mouvements alternés d'ouverture et de fermeture qui se répercutent dans les couches supérieures, et notamment dans l'étanchéité.

d) L'inclinaison du support

La pente résultante du support est susceptible de provoquer le glissement du revêtement. En effet, la composante, suivant la pente résultante, du poids du revêtement sollicite celui-ci d'une manière constante et est susceptible d'engendrer le fluage de l'étanchéité (réf. **13** et **14**).

2.2.2.3. *Actions dues au tassement des remblais adjacents au pont*

Ces tassements peuvent engendrer des cisaillements importants à la limite du pont et du remblai ou encore des rotations importantes au niveau des dalles souples.

2.2.3. Les actions physico-chimiques

a) Les sels de déneigement

L'action thermique des sels de déneigement peut être néfaste aux bétons à liants hydrauliques qui ne possèdent pas de caractéristiques optimales (notamment de porosité) en surface. Le choc thermique exercé par ces sels provoque alors rapidement l'écaillage de la surface, amorce d'une lente désagrégation ultérieure. En outre, les sels de déneigement provoquent la corrosion des armatures contenues dans l'une ou l'autre couche du revêtement ou du pont.

Signalons que, sur pont, les effets des sels de déneigement risquent d'être plus néfastes que sur les chaussées hors pont. En effet, les épandages peuvent y être plus fréquents et leur effet davantage nocif car, sur pont, les saumures infiltrées restent emprisonnées dans le revêtement (à cause de l'étanchéité).

b) Le vieillissement

La plupart des produits, notamment les bitumes et certains polymères, connaissent une évolution de leurs propriétés dans le

temps. Le vieillissement peut être dû à l'action des rayons ultra-violet de la lumière du jour ou à l'évaporation de certaines fractions légères des liants. Il peut également provenir d'une contamination : problème de la compatibilité entre produits adjacents. Les produits vieillis deviennent cassants et peuvent donc se fissurer.

c) Le mazout et les huiles de moteur

Ces constituants dissolvent le bitume, ainsi que certains polymères et ramollissent les produits à base de bitume. Ce type d'action ne se présente cependant que ponctuellement (aires d'arrêt ou de stationnement) ou exceptionnellement (accident). Dans ce cas, le mazout et les huiles de moteur contribuent au désenrobage des bétons bitumineux et à la destruction de la plupart des produits d'étanchéité.

d) L'humidité de la dalle de platelage

Une dalle de platelage humide ou contenant un important % d'eau non fixée (béton léger ou béton classique très jeune) peut sous l'effet du choc thermique de la pose des couches inférieures (étanchéité - protection) du revêtement y engendrer du bullage ou du cloquage (par formation de vapeur).

e) Les chocs thermiques

La mise en œuvre, à température élevée, des couches du revêtement provoque un choc thermique important sur les couches inférieures. Ce choc thermique s'accompagnant généralement d'importantes actions mécaniques consécutives au mode de mise en œuvre, (cf. § 2.2.2.1. d) peut provoquer des dégâts dans certaines couches, notamment l'étanchéité.

En outre, le choc thermique contribue au développement des phénomènes de bullage et de cloquage.

2.2.4. Les dégradations

Les diverses actions envisagées ci-avant peuvent, si elles s'exercent sur un revêtement présentant des défauts de conception ou d'exécution, y engendrer des dégradations. Le **tableau 2.2.** présente les relations qui existent entre les différentes actions et diverses catégories de dégradations. Dans ce tableau, seules les actions principales ont été prises en considération ; les autres actions peuvent avoir une incidence secondaire parfois très importante ; à titre d'exemple, la température (par le truchement de son effet sur les modules des matériaux) intervient dans d'autres dégradations (fissures de flexion). On consultera la réf. **15**, pour plus de détails en ce qui concerne ces dégradations, leurs causes et leur évolution.

**TABLEAU 2.2.
Liens principaux entre actions et dégradations**

Action / Dégradation	Température	Eau - Gel	Action directe des véhicules	Déformation structurelle et vibrations	Fissuration du support	Inclinaison du support	Sels de dén., vieillissement, mazout, huile	Humidité du support
Fissuration de flexion (fatigue)			X	X				
Fissure de réflexion					X			
Fissure thermique	X							
Glissement par fluage	X					X		
Tôle ondulée par perte de frottement			X (action tangent.)					
Orniérage	X		X					
Cloque	X							X
Désagrégation		X					X	

Note : Les diverses catégories de dégradations peuvent regrouper plusieurs types de dégradation. Par ex. le glissement par fluage peut se présenter sous forme de bourrelet, d'affaissement, de fissuration, d'ouverture de joints ou de décollement. De même tout type de fissure peut dégénérer en faiençages, voire en trous...

Outre les dégradations mentionnées ci-dessus et qui concernent le revêtement dans sa partie courante, il faut encore signaler les dégradations particulièrement fréquentes qui se font jour aux abords immédiats des points singuliers du revêtement (joints de dilatation, regards, ...) (réf. 16) suite notamment aux actions dynamiques (cf. 2.2.2.1.c) exercées sur ces éléments, aux infiltrations d'eau entre les éléments et le revêtement, ainsi qu'aux dégradations propres des éléments qui se propagent très rapidement au revêtement adjacent.

L'objectif d'une bonne conception du revêtement est de minimiser les effets des actions en empêchant qu'elles n'y engendrent trop rapidement les dégradations.

2.3. CONCEPTION

Concevoir un revêtement de pont nécessite de choisir le type de structure, les matériaux des diverses couches, leur épaisseur et leur mode de liaison (adhérence ou non).

2.3.1. La structure

Un revêtement de pont doit pouvoir assurer le plus longtemps possible les diverses fonctions suivantes :

- étancher la dalle de platelage,
- protéger cette étanchéité,
- reprofiler et mettre à niveau,
- permettre un éventuel glissement entre le revêtement et la dalle de platelage,
- évacuer les eaux d'infiltration,
- présenter des caractéristiques de surface satisfaisantes compatibles avec le confort et la sécurité de l'usager, la sécurité de l'ouvrage et la pérennité du revêtement.

A cette fin, il convient d'utiliser des matériaux spécifiques dont les caractéristiques sont en rapport avec la fonction à remplir. Les couches constituées à partir de ces matériaux spécifiques cumulent rarement plusieurs fonctions. A chaque fonction à remplir par le revêtement correspond donc généralement une couche de celui-ci. Le **tableau 2.3.** présente les diverses couches constituant la structure d'un revêtement de pont ainsi que les références des paragraphes qui explicitent leur rôle.

2.3.2. Les matériaux

Le choix des matériaux pour chacune des couches constitutives du revêtement de la chaussée est abordé aux chapitres consacrés à chacune des couches : étanchéité chapitre 4, protection chapitre 5, liaison chapitre 6, drainage chapitre 8 (§ 8.10.2.1.), glissement chapitre 7 (§ 7.2.1.1.), supérieure chapitre 7. Pour les matériaux constituant les

TABLEAU 2.3.
Structure d'un revêtement de pont

Couches	Rôle (cf. §)	En chaussée	Zones adjacentes à la chaussée
ETANCHEITE	4.	INDISPENSABLE	INDISPENSABLE
PROTECTION	5.1.1.	INDISPENSABLE	INDISPENSABLE
Liaison	6.1.	Fonction de la nécessité d'effectuer un reprofilage (ce qui ne peut être apprécié qu'après bétonnage de la dalle de platelage). Il est prudent de prévoir une telle possibilité au niveau du projet.	idem «en chaussée» Peut être superflu si les matériaux utilisés pour la couche supérieure permettent le reprofilage.
Glissement	7.2. et 7.2.1.1.	Uniquement sous le béton armé continu dans le cas de certains ponts : — pas du type «cadre» — du type «cadre», de portée > 15 m	Jamais
Drainage	8.10	Jamais sous un béton bitumineux. Souhaitable sous un béton armé continu	Souhaitable. Superflu si les matériaux de la couche de liaison sont drainants.
COUCHE SUPERIEURE	7.1.	INDISPENSABLE	INDISPENSABLE

COUCHES FONDAMENTALES DU REVETEMENT

Exceptionnellement ces 3 couches peuvent être réalisées par un même matériau : certaines résines et asphaltes coulés spéciaux (cf. 4.3.2.5.1. et 4.3.4.4.)

zones adjacentes de la chaussée, on consultera éventuellement le chapitre 8, mais également le chapitre 4 pour l'étanchéité et le chapitre 5 pour sa protection.

Toutes ces couches faisant partie d'un même ensemble structurel (le revêtement), il y a lieu de **vérifier leurs compatibilités** et leurs éventuelles interactions. Outre les compatibilités physiques et chimiques, il est parfois nécessaire de vérifier les compatibilités du point de vue perméabilité. Ainsi, on évitera d'emprisonner des couches insuffisamment imperméables (ex. un type III à 7 % de vides) entre 2 couches imperméables ou quasi imperméables (ex. couche inférieure en asphalte coulé d'étanchéité, couche supérieure en type II à 2 % de vides), ce qui risque d'engendrer le cloquage de la couche supérieure.

Les propriétés individuelles des diverses couches ne sont pas seules à conditionner les **performances du revêtement**. Il convient d'examiner leur incidence sur le comportement global du revêtement. Des **modèles de calculs** développés au C.R.R. (réf. **10** et **14**) permettent d'évaluer, pour les critères de fissuration par fatigue, de déformation permanente et de glissement par fluage, les durées de vie de structures complètes de revêtements bitumineux en fonction des caractéristiques des diverses couches du revêtement et des actions qu'il subit (§ 2.2.2.1. b).

2.3.3. Les épaisseurs

L'**épaisseur minimale totale du revêtement** est conditionnée par les épaisseurs minimales individuelles de chacune des couches constitutives. Le choix des matériaux fixe bien souvent l'épaisseur, ou une marge, assez restreinte, de variation d'épaisseur pour les diverses couches. L'adjonction d'une couche supplémentaire de liaison permet d'augmenter l'épaisseur totale du revêtement.

Lorsqu'un **choix de l'épaisseur nominale totale du revêtement** est possible, il s'effectuera sur base des considérations suivantes :

- une augmentation d'épaisseur du revêtement entraîne une augmentation des charges permanentes du pont ;
- une augmentation d'épaisseur du revêtement diminue les sollicitations thermiques des couches inférieures (étanchéité) de celui-ci ;
- les risques de déformation permanente (orniérage) et de glissement par fluage sont accrus par une augmentation d'épaisseur du revêtement ;
- en ce qui concerne les critères de fissuration par fatigue, des calculs effectués au C.R.R. ont montré que dans les limites d'épaisseur généralement admises pour les revêtements bitumineux de ponts (70 à 120 mm) une augmentation d'épaisseur est favorable à la longévité du revêtement dont l'étanchéité est du type feuille

préfabriquée à base de bitume. Elle est par contre défavorable pour les revêtements dont l'étanchéité est en asphalte coulé (réf. 17).

- une augmentation d'épaisseur favorise la longévité globale du revêtement bitumineux vis-à-vis de la réflexion des fissures engendrées dans les couches inférieures (par ex. dans la couche de protection en béton bitumineux posée sur des étanchéités du type feuille préfabriquée) ;
- dans le cas de revêtements bitumineux non adhérents (étanchéité du type asphalte coulé), l'augmentation d'épaisseur favorise son comportement sous l'effet des actions tangentielles dues au trafic (freinage, pentes,...).

Sur base des considérations précédentes, on peut préconiser, pour **les revêtements de chaussée dont la couche supérieure est en béton bitumineux**, les épaisseurs totales suivantes (à l'exclusion des éventuelles couches de liaison – nécessitées par un reprofilage éventuel – qu'il convient d'y ajouter) :

- environ 70 mm (étanchéité = 10 ou 15 ; protection = 30 ; roulement = 30) pour les **revêtements dont l'étanchéité est en asphalte coulé** à la condition qu'ils ne soient pas soumis à des efforts tangentiels excessifs (feux de signalisation, etc...)*.
- environ 90 à 100 mm : (étanchéité = 5 ou 10 ou 15 ; protection = 30 ; liaison (éventuellement variable) = minimum 30 ; roulement = 30) ou (étanchéité = 5 ou 10 ou 15 ; protection = 30 ; roulement = 50) pour des **revêtements dont l'étanchéité est du type feuille préfabriquée** (danger de fissuration de la couche de protection) et pour ceux dont l'étanchéité est en asphalte coulé mais qui subissent d'importants efforts tangentiels.

L'épaisseur des **revêtements dont la couche supérieure est en béton armé continu** est généralement fixée sur base des épaisseurs technologiques des diverses couches soit environ 220 ou 240 mm, non compris l'éventuelle couche de profilage (étanchéité = 5 ou 10 ou 15 ; protection = 30 ; roulement = 180 ou 200 mm). L'épaisseur de la couche de béton armé continu est identique à celle qui a été choisie en dehors du pont.

Les épaisseurs totales des revêtements décrits ci-dessus ne comprennent donc pas **le reprofilage** éventuel. Ce reprofilage ne pouvant être apprécié qu'après bétonnage de la dalle de platelage, il est prudent de prévoir, au niveau du projet, une surcharge équivalente à une couche de reprofilage de 50 mm, à répartir sur toute la surface du pont ou sur les endroits les plus défavorables.

(*) D'autres considérations détaillées au § 7.2.2. peuvent faire envisager une couche de roulement de 50 mm. Dans ce cas l'épaisseur totale de ce revêtement atteindra environ 90 mm.

L'épaisseur du **revêtement en dehors de la chaussée** dépend essentiellement de l'épaisseur du revêtement de chaussée et des considérations de niveaux relatifs qui seront abordés au chapitre 8.

2.3.4. Les liaisons entre couches et au support

2.3.4.1. *Liaisons entre couches du revêtement*

En chaussée, **lorsque la couche supérieure du revêtement est réalisée en béton bitumineux**, il y a toujours intérêt à réaliser une bonne adhérence entre toutes les couches du revêtement. En effet, l'absence d'adhérence augmente le risque de glissement sous l'effet de l'application d'efforts tangentiels. D'une manière générale il n'y a pas de difficulté particulière pour obtenir cette adhérence entre couches sauf dans le cas de certaines étanchéités du type feuilles préfabriquées synthétiques ou résines pour lesquelles des mesures spéciales doivent être prises (cf. chapitre 4).

C'est entre autres parce qu'un géotextile de drainage favorise la désolidarisation entre couches qu'il est déconseillé de le prévoir dans le cas d'un revêtement bitumineux.

Dans le cas des **revêtements dont la couche supérieure est en béton de ciment**, les considérations de stabilité mécanique (risque de glissement) évoquées ci-dessus ne se posent pas dans les mêmes termes, étant donné la rigidité de la couche. Une non-adhérence du béton armé continu est au contraire favorable car elle facilite les mouvements horizontaux différentiels entre le béton armé continu et la superstructure du pont, suite à sa dilatation, et diminue le risque de propagation des fissures du béton armé continu vers les couches inférieures.

De même, dans les **zones adjacentes à la chaussée**, étant donné le faible niveau des actions mécaniques, l'adhérence entre couches n'est pas toujours à rechercher (elle dépend des matériaux utilisés). Il est donc – de ce point de vue – toujours possible d'y prévoir une couche de drainage.

2.3.4.2. *Liaison du revêtement au support*

Au cas où il n'y a pas d'adhérence (ou lorsqu'il y a adhérence partielle) entre l'étanchéité et son support (cas des asphaltes coulés), les considérations émises ci-dessus au sujet des risques de glissement restent valables. L'absence d'adhérence (ou l'adhérence partielle) favorise également, en cas de déficience locale de l'étanchéité, la percolation de l'eau sous l'étanchéité à la recherche d'une fissure du support. Par contre, l'absence d'adhérence diminue le danger de réflexion des fissures du support.

Le type de liaison (adhérence ou non-adhérence) **conditionne la répartition des contraintes et déformations au sein des couches du**

revêtement en béton bitumineux et donc leur longévité, notamment pour le critère de fissuration par fatigue. Des calculs effectués au C.R.R. ont montré que dans le cas de dalles de platelage fortement sollicitées en flexion transversale (dalles minces, grande entredistance entre les poutres maîtresses, axe de passage des roues situé entre celles-ci), la durée de vie des revêtements bitumineux non-adhérents est systématiquement plus élevée que celle des revêtements adhérents correspondants. Par contre, pour les tabliers faiblement sollicités en flexion transversale (dalle épaisse, faible entredistance entre les poutres maîtresses, axe de passage des charges situé sur celles-ci) c'est la durée de vie des revêtements adhérents qui est la plus élevée.

2.4. DELAIS D'EXECUTION

Certaines couches du revêtement doivent être posées dans des délais qui leur sont spécifiques. Les délais les plus importants à respecter figurent au **tableau 2.4**. Insistons notamment sur la nécessité de poser avant l'hiver la couche située au-dessus des complexes étanchéité-protection tout en asphalte coulé. Ces complexes risquent en effet de se fissurer au cours des hivers particulièrement rigoureux. L'impossibilité de respecter ces délais peut amener à revoir le planning d'exécution du revêtement (par ex. il peut être préférable de différer l'exécution du complexe étanchéité-protection jusqu'après le passage d'un important trafic de chantier plutôt que de prévoir celui-ci sur un complexe d'étanchéité-protection non surmonté d'une autre couche) ou encore à prévoir des couches provisoires remplissant le rôle de la couche qui n'a pu être mise en œuvre (voir par ex. les couches de protection provisoires au § 5.2.).

TABLEAU 2.4.**Délais conseillés de pose des diverses couches du revêtement**

	Minimum	Maximum
Pose de l'étanchéité après bétonnage du support (cf. chapitre 4)	environ 3 semaines	le plus tôt possible
Pose de la protection après pose de l'étanchéité (cf. chapitre 5)	1 jour (résines : à préciser d'après formulation)	– 2 semaines – avant tout passage de trafic
Pose de la couche au-dessus de la protection (liaison ou supérieure – minimum 30 mm) après pose de celle-ci (cf. chapitre 5)	1 jour	– avant l'ouverture au trafic normal – avant le passage d'un trafic de chantier très important – avant l'hiver pour les protections en asphalte coulé (risque de fissuration) – le plus tôt possible au printemps et en été pour les protections en béton bitumineux surmontant des feuilles préfabriquées (risque de cloquage).

3. LE PONT ET SON TABLIER

La superstructure et en particulier le tablier du pont participent, tant par leur conception que par leur exécution, à la pérennité du complexe étanchéité-revêtement. Une bonne conception et une bonne exécution respecteront les principes suivants :

- **Absence** à la longue (cf. § 3.1.2.1.), **de tout reprofilage**, qu'il se situe au niveau du tablier ou du revêtement.
- **Réduction** au strict minimum **des points singuliers** où l'étanchéité doit changer de direction, être interrompue ou percée, **et appropriation du support** aux abords de ceux-ci.
- **Evacuation possible de l'eau** en tout temps et en tout point au niveau du tablier et du revêtement, notamment en évitant les "pièges à eau".
- **Réduction de l'influence des sollicitations** dues au trafic et au climat.

3.1. LA CONCEPTION*

3.1.1. La conception de l'ouvrage

Chaque fois que des raisons économiques ou esthétiques ne l'interdisent pas et que l'implantation des travées le permet, **on préférera** – du point de vue du revêtement – **les ponts rigides** (souvent massifs) aux ponts élancés et souples. Les ponts rigides ont l'avantage :

- de permettre l'utilisation de revêtements suffisamment épais (notamment le béton armé continu), voire de passer sur le pont avec la structure complète de la chaussée «hors pont»,
- de réduire le niveau des vibrations,
- de diminuer les déformations transmises par le support au revêtement,
- d'atténuer – s'ils sont massifs – les sollicitations thermiques dues aux actions climatiques.

A tous égards les sollicitations dues au trafic et au climat seront donc diminuées au niveau du revêtement.

Les ponts seront conçus de manière à **réduire** au minimum **le nombre de joints de dilatation** (points faibles potentiels du revêtement – notamment de l'étanchéité –) en rendant les travées entièrement continues ou du moins continues en ce qui concerne les déplacements horizontaux grâce au dispositif dit de «dalle souple» (réf. **18**).

* Dans la mesure où certains procédés d'exécution interfèrent sur l'étude de l'ouvrage, nous les incluerons dans le terme «conception».

En outre, **on éloignera** le plus possible **les points** particulièrement **vulnérables de l'ouvrage** (par exemple remontées ou abouts des câbles de précontrainte) **des points faibles** potentiels **de l'étanchéité** du pont (par exemple : joint de dilatation, points où l'étanchéité n'est pas continue ou est percée par des ancrages). L'ancrage de câbles de précontrainte au niveau du tablier est à proscrire.

On évitera les discontinuités potentielles du niveau supérieur **de la dalle de platelage**. Ces discontinuités peuvent résulter d'un procédé d'exécution (juxtaposition d'éléments préfabriqués ou bétonnage en divers tronçons) ou de la conception même de l'ouvrage (câbles de précontrainte relevés dans le tablier par exemple – solution à proscrire). Il va de soi que cette recommandation doit être nuancée et que dans certaines situations, il est impossible, voire non souhaitable, de supprimer toute discontinuité dans le bétonnage de la dalle de platelage (par exemple : bétonnage des dalles souples après que le fluage des travées adjacentes se soit partiellement manifesté). Toutefois, chaque fois qu'elles existent, les solutions équivalentes permettant la continuité, seront préférées. En effet, les discontinuités rendent difficile le respect des profils à réaliser au niveau du tablier et nécessitent des précautions particulières au niveau de l'étanchéité.

3.1.2. **La conception de la dalle de platelage**

Les profils, les pentes et la géométrie du support seront tels que d'une part, ils ne nécessitent aucun reprofilage et que d'autre part, le platelage ne présente aucun piège à eau, c'est-à-dire qu'il permette en tout point (y compris dans le revêtement) l'écoulement aisé de l'eau vers les points bas où seront prévus des dispositifs de collecte et d'évacuation (drains, avaloirs et gargouilles).

3.1.2.1. *Le profil en long*

Tous les ouvrages en béton, classiques ou léger, armé ou précontraint, **subissent des déformations différées**. Celles-ci résultent de l'action combinée du retrait, du fluage et de la précontrainte. Les lois qui régissent ces déformations sont assez bien connues actuellement pour pouvoir les prévoir avec une précision suffisante (réf. **19**).

Viennent s'ajouter à cela les déformations résultant de l'éventuelle fissuration de l'ouvrage. Ces phénomènes de fissuration sont surtout le fait des ouvrages en béton armé de portée assez faible et donc de conséquences peu importantes. Mais il peut aussi être celui des ponts en précontrainte partielle (ou limitée), où théoriquement cette fissuration est peu probable, mais pourrait cependant survenir avec des conséquences non négligeables.

L'amplitude des déformations qui résultent de ces divers phénomènes est souvent difficile à prévoir exactement mais peut atteindre des proportions d'une valeur de 3 à 1.

Il importe donc à l'auteur de projet d'évaluer toutes ces déformations avec leurs fourchettes de probabilité, d'en déduire les conséquences au point de vue du choix du matériau, ainsi que de la définition, avec leurs tolérances, du profil en long à la mise en service et de celui, probable, à la longue (**profil en long théorique**). Le maître de l'ouvrage faisant exécuter un projet doit être conscient qu'il ne peut lui être garanti qu'un profil en long à l'intérieur d'une certaine fourchette et que ce profil en long se modifiera dans le temps, avec une amplitude probable qui doit lui être précisée.

Compte tenu de ce qui précède, l'auteur de projet fixera, en accord avec le maître d'œuvre, un **profil en long conventionnel** à réaliser à la fin du bétonnage. Ce profil en long sera choisi de manière à ce qu'il y ait parallélisme entre le profil en long de la dalle et le profil en long à respecter au niveau supérieur du revêtement à la mise en service de l'ouvrage de façon à se rapprocher le mieux possible à la longue du profil en long théorique.

3.1.2.2. *Parallélisme des pentes transversales du support et de la surface du revêtement*

En vue **d'éviter le recours à un béton de pente ou au reprofilage** au niveau du revêtement, la face supérieure de la dalle de platelage au droit de la chaussée sera, dans le sens transversal, dressée parallèlement à celle à obtenir pour la surface de la couche de roulement. On peut y arriver en faisant varier l'épaisseur de la dalle de platelage ou mieux en répercutant les différences de niveau du profil en travers du revêtement au niveau de l'ossature même du tablier (niveau d'appui ou hauteur des poutres). Compte tenu des matériaux utilisés dans les zones adjacentes de la chaussée (trottoir ...), le parallélisme entre surface et support n'est pas indispensable dans ces zones ; il y reste cependant souhaitable.

3.1.2.3. *L'évacuation des eaux et les points bas du support*

- Des **dispositifs de collecte et d'évacuation des eaux** sont à prévoir à divers niveaux de la structure (platelage, revêtement) pour évacuer les eaux qui s'y accumulent et éviter ainsi la formation de pièges à eau et ce, à toutes les phases de construction de l'ouvrage et de son revêtement.
- Les eaux de ruissellement au niveau de la couche supérieure : filets d'eau et avaloirs ;
- Les eaux d'infiltrations au-dessus de l'étanchéité : drainage et gargouilles.
- Les eaux de condensation entre la dalle de platelage et les étanchéités en asphalte coulé : événements ou busettes de décompression.

Il est indispensable d'étudier ces dispositifs de collecte et d'évacuation des eaux au moment du projet. En effet, d'une part il peut y avoir interférence entre l'implantation des divers dispositifs et la superstructure elle-même (emplacement des poutres, position des points bas....) d'autre part, la mise en place de ces dispositifs nécessite parfois des adaptations locales du support qui elles-mêmes entraînent des modifications au niveau des armatures en vue de leur assurer une épaisseur de recouvrement suffisante, modifications dont il convient de tenir compte au stade du projet, car elles sont peu onéreuses à ce moment mais deviennent très coûteuses lorsqu'elles doivent être faites ultérieurement.

La conception, l'implantation et la mise en œuvre des dispositifs de collecte jusqu'à leur connexion aux tuyaux d'évacuation seront étudiées au chapitre 8. Le système d'évacuation proprement dit (tuyaux, chambres de visite...) qui est également à étudier au moment du projet, n'est pas repris dans le présent code.

Nous abordons ci-dessous uniquement les problèmes relatifs à l'implantation des points bas transversaux de la dalle de platelage qui conditionnent directement le système d'évacuation des eaux à ce niveau et au niveau supérieur de l'étanchéité.

- Au niveau de la dalle de platelage, **les points bas du profil transversal** sont la plupart du temps situés à l'intérieur du pont. Dans la pratique, ces points bas sont choisis :
 - soit à l'extrémité du profil juste avant le relevé de corniche (cf. **figure 3.1.**), ce qui permet généralement de conserver constante la pente de la face supérieure de la dalle de platelage sur toute la largeur (facilite le bétonnage) mais nécessite généralement un profilage au niveau du trottoir ;
 - soit dans l'axe des filets d'eau, ce qui a l'avantage d'éviter le profilage au niveau du trottoir et de nécessiter un seul axe d'évacuation des eaux (cf. **figure 3.2.**) mais peut rendre dans certains cas, le bétonnage plus difficile.

En aucun cas les points bas ne seront situés sous la chaussée proprement dite. Les dispositifs d'évacuation d'eau prévus à ces endroits sont en général incompatibles avec la pose d'un revêtement bitumineux.

En outre, les points bas sont situés en dehors du gabarit des poutres, et de préférence à l'extérieur des caissons. Dans le cas contraire, les risques de dégradation à l'ouvrage sont en effet élevés en cas de rupture ou de mauvais fonctionnement de l'un ou l'autre dispositif d'évacuation des eaux. Si toutefois l'évacuation des eaux est prévue à l'intérieur d'un caisson, tous les éléments de celui-ci doivent être accessibles et être pourvus en leurs points bas d'une ouverture pour l'évacuation des eaux d'infiltration éventuelles.

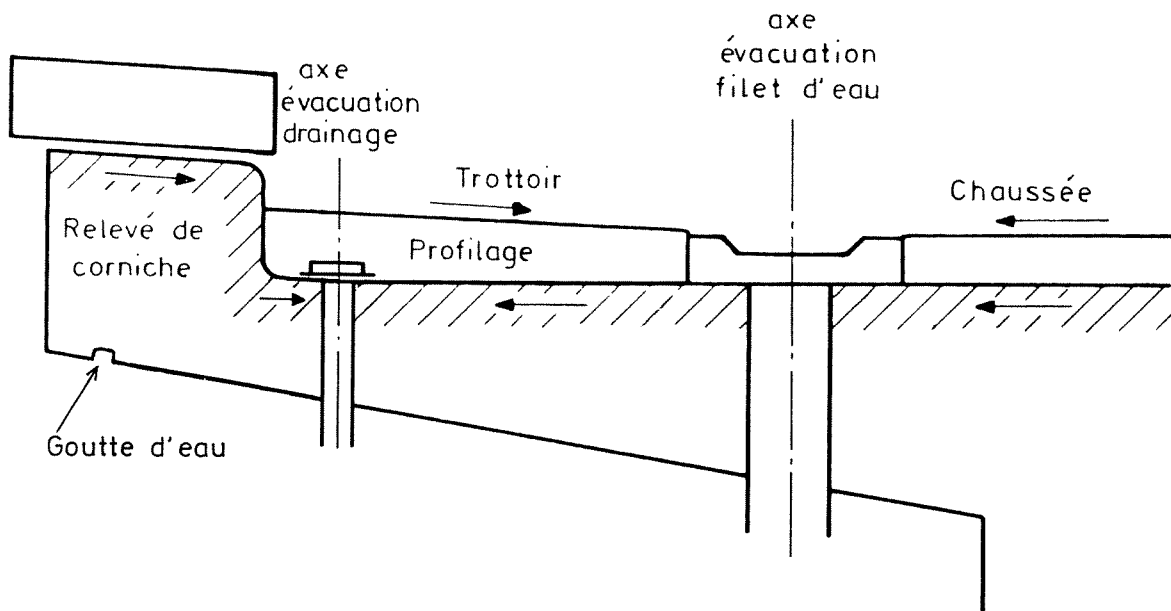


Fig. 3.1.

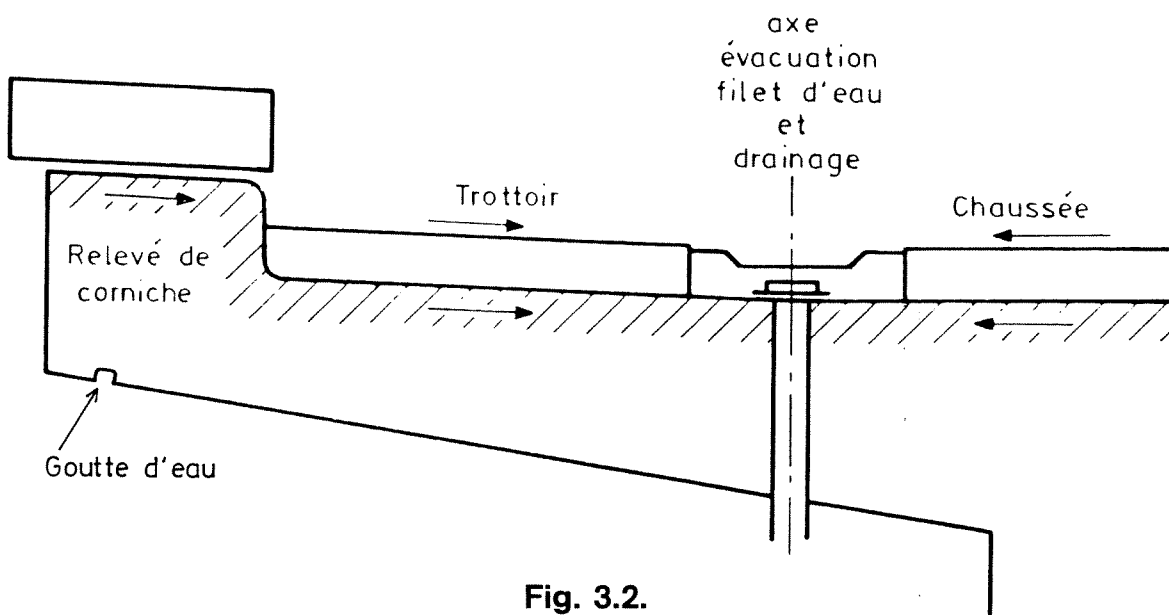


Fig. 3.2.

Fig. 3.1. et 3.2.

**Implantation transversale du dispositif d'évacuation des eaux au niveau de la couche supérieure et de l'étanchéité
— schéma de principe —**

Ces précautions sont inutiles dans le cas où aucun dispositif d'évacuation n'est prévu sur l'ouvrage : pont court, de pente uniforme et sans joint de dilatation à l'aval, permettant l'évacuation directe des eaux à l'arrière de la culée.

- **Dans certains cas** (cf. **figure 3.3.**), **l'évacuation des eaux** au niveau du support peut être prévue **vers l'extérieur du pont**. Ce dispositif, qui au niveau de l'étanchéité* ne nécessite pas de système de collecte ou d'évacuation des eaux, présente cependant des risques pour l'usager circulant sous le pont (chutes non négligeables d'eau et... de stalactites). Ce système nécessite généralement l'emploi de corniches préfabriquées dont la stabilité doit être assurée par un relevé discontinu particulièrement difficile à réaliser et à étancher (**figure 3.3. (B)**). En outre, l'écoulement continu des eaux chargées de sels de déneigement le long des faces verticales extérieures (non protégées par l'étanchéité) de la dalle de platelage risque d'y provoquer des dégradations si le béton n'y a pas été spécialement traité ou protégé contre ces agressions. Au droit de la chaussée sous l'ouvrage, le relevé peut être rendu continu ; cela supprime à ces endroits, les inconvénients cités ci-dessus (chutes d'eau et de stalactites...) mais atténue l'efficacité du système, un drainage du support devant être prévu à cet endroit.

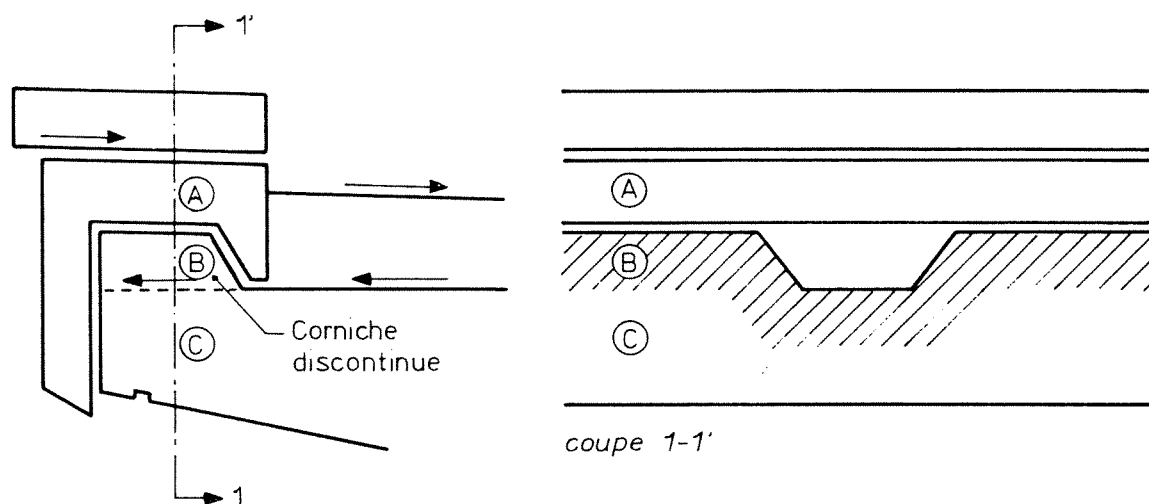


Fig. 3.3.
Dispositif d'évacuation, vers l'extérieur, de l'eau d'infiltration
au niveau de l'étanchéité
– schéma de principe –

SOC 14.176/2

* Il ne dispense pas de l'installation d'évents aux points bas des zones de non-adhérence en cas d'étanchéité en asphalte coulé.

- Quel que soit le sens prévu pour l'évacuation des eaux, il est toujours prudent de munir la face inférieure de la dalle de platelage d'un dispositif de «**goutte d'eau**». Celui-ci être obtenu par exemple en prévoyant un coffrage perdu à l'aide d'un profilé en aluminium ou en PVC.

3.1.2.4. *Les pentes*

De part et d'autre des points bas, les **pentés transversales**, tant sous les trottoirs que sous la chaussée (ceci du moins dans la limite des possibilités du tracé) seront inclinées **d'au moins 2 %** vers ces points bas. Aux abords des points singuliers (corniches, socles, joints de dilatation...) la surface de la dalle doit être aménagée spécialement en vue de diriger, dans tous les cas, l'eau vers les points bas où sont situés les dispositifs d'évacuation des eaux. Les aménagements locaux des pentes seront compatibles avec les pentes résultantes maximales tolérées par les matériaux d'étanchéité prévus.

3.1.2.5. *Les seuils et relevés*

Les relevés, seuils et changements brusques de pentes au niveau du support sont à réduire au strict minimum (points faibles de l'étanchéité – obstacles à l'écoulement des eaux). Les seuls relevés et seuils tolérés sont ceux nécessaires à la stabilité de l'ouvrage et au fonctionnement de l'étanchéité : joints de dilatation, corniches et socles nécessaires à la stabilité des blocs d'ancrage sous trottoirs ou bermes.

Les arrêtes vives au niveau du support sont incompatibles avec la pose de feuilles préfabriquées d'étanchéité. Aux endroits où un tel type d'étanchéité est utilisé sur l'ouvrage, il est souhaitable de prévoir des arrondis réguliers ($R = 50 \text{ mm}$) à tout changement de direction du support. A défaut d'arrondis, il faut à tout le moins prévoir un chanfrein (50 mm , 45°)*.

Des exemples de telles dispositions constructives sont présentés aux § 8.1., 8.2. et 8.3.

3.1.2.6. *Les ancrages des garde-corps, pierres bleues et glissières de sécurité*

Le percement de l'étanchéité par des ancrages ou des boulons **doit être évité** le plus possible. L'expérience montre que ces ancrages constituent, avec les joints de dilatation et les corniches, les points faibles par excellence des étanchéités. Il est possible, comme cela se fait en Allemagne et en Suisse (réf. 20) de supprimer la plupart de ces percements en **ancrant les tablettes, garde-corps et glissières de sécurité dans des blocs ou des socles de béton posés en indépendance sur l'étanchéité munie de sa protection.**

* La seule exception à cette règle concerne les socles d'ancrage étanchés à l'aide soit d'un asphalte coulé spécial pour relevés (cf. § 4.3.2.5.1.), soit d'une résine ou d'un mortier résineux.

L'auteur de projet devra contrôler la stabilité des ces blocs de béton sous l'effet d'impacts éventuels*. Les efforts horizontaux de ces socles sont soit repris par des seuils, soit transmis par l'intermédiaire des matériaux de remplissage vers les relevés d'extrémités.

Des exemples concrets de telles réalisations sont présentés au chapitre 8 (dispositifs E et F du § 8.1.2. et § 8.4.2.1.D.).

3.1.2.7. *Les jauges de contrôle de l'efficacité de l'étanchéité dans le temps*

Lorsqu'un tel système de jauges est prévu (cf. § 4.4.4.), celui-ci sera implanté de préférence aux points bas des pentes (points d'accumulation des eaux). Des busettes (cf. § 8.9.) doivent être prévues à une extrémité des jauges de manière à ramener les fils de raccordement vers les boîtiers de connexion situés généralement sous l'ouvrage.

3.2. **EXIGENCES RELATIVES A LA DALLE DE PLATELAGE EN TANT QUE SUPPORT DU COMPLEXE ETANCHEITE - REVETEMENT**

Les **principes** qui doivent guider la réalisation des dalles de platelage sont :

- **l'absence de reprofilage ;**
- **l'absence de pièges à eau ;**
- **la compatibilité avec la pose de l'étanchéité choisie.**

L'observation de ces principes conduit à certaines **exigences en matière de respect des profils, de planéité, de texture et de qualité du béton** en vue d'éviter tout recours ultérieur à des traitements spéciaux toujours plus coûteux et plus aléatoires (§ 3.4.).

Pour différencier ces divers aspects nous ferons appel au **concept de «longueur d'onde»** (λ). Nous supposons en effet que l'on peut assimiler le profil du tablier, tel qu'il a été réalisé, à une superposition d'ondes de type sinusoïdal de différentes longueurs d'onde. Diverses catégories de longueur d'onde permettront de mettre en évidence les aspects considérés :

- a) $\lambda \geq 1$ m : les profils $\lambda > 10$ m : les grandes dénivellations
 $1 \text{ m} \leq \lambda < 10$ m : les dénivellations moyennes
- b) $0,10 \text{ m} \leq \lambda < 1$ m : la planéité locale
- c) $\lambda < 0,10$ m : la texture.

* Le système doit présenter un couple résistant au renversement au moins égal à $4 \times n$ KNm/m où n représente le nombre de dispositifs de sécurité parallèles ancrés dans ce système (barrière de sécurité, glissière de sécurité, etc...) et une résistance aux efforts horizontaux au moins égale à $8 \times n$ KN/m.

3.2.1. Le respect des profils

3.2.1.1. *But*

Le profil théorique transversal et le profil conventionnel longitudinal du platelage, sont importants dans la mesure où leur non-respect peut entraîner des reprofilages importants, des difficultés d'évacuation des eaux, ou un recouvrement insuffisant des armatures.

3.2.1.2. *Modes de mesure*

- a) **Les grandes dénivellations** ($\lambda \geq 10$ m), dont la longueur d'onde correspond parfois à la longueur des travées, peuvent être mises en évidence à l'aide d'un **nivellement topographique**. Les longueurs d'onde minimum qui peuvent être mesurées par ce procédé dépendent du maillage choisi pour le nivellement. En admettant que le pas du maillage doit être égal au 1/4 de la longueur d'onde sélectionnée, il convient d'adopter, dans le sens longitudinal du pont, un pas de 2,50 m en vue de détecter les longueurs d'onde de l'ordre de 10 m, généralement suffisantes pour apprécier les reprofilages importants à effectuer. Dans le sens transversal, il y a intérêt à faire coïncider les axes du maillage avec les extrémités latérales des couches telles qu'elles seront posées par les finisseuses. Le nivellement peut être remplacé (et complété) partiellement par des mesures à l'aide du **profilomètre** (voir ci-dessous).
- b) **Les dénivellations moyennes** ($1 \text{ m} \leq \lambda < 10 \text{ m}$), si elles intéressent moins les problèmes de reprofilage, sont par contre importantes en ce qui concerne les pièges à eau et le recouvrement des armatures. Actuellement, le système généralement en vigueur (préconisé par le CCT 150) des mesures à la **règle de 3 m**, ne permet que très partiellement de quantifier de telles dénivellations. Il doit donc à tout le moins être complété par d'autres systèmes de mesure donnant la possibilité d'apprécier les dénivellations de longueur d'onde plus élevées (relevés topographiques) ou moins élevées (règle de 1 m par ex.) ou encore être remplacé par d'autres systèmes de mesures (profilomètres) qui procurent un relevé semi-continu du profil.

Parmi les profilomètres disponibles signalons les **profilomètres mécaniques** qui permettent non seulement de mesurer les grandes et moyennes dénivellations telles que définies ci-dessus mais également le profil en long de l'ouvrage. Le relevé topographique complémentaire de quelques points est indispensable pour fixer le niveau absolu du profil en long. En choisissant de façon adéquate les axes de passage du profilomètre, il est donc possible d'obtenir le relevé complet des niveaux de l'ouvrage.

Dans certains cas particuliers, on peut utiliser l'**analyseur de profil en long** (réf. **21**) pour le relevé automatique et en continu du profil. La mesure nécessitant le déplacement d'un véhicule à vitesse contrôlée située entre 20 et 60 km/h, ne peut cependant être effectuée que sur des ponts longs, dont le tablier est accessible et ne présente aucun obstacle intermédiaire tel que des joints de dilatation. Le procédé a l'avantage d'être particulièrement rapide.

Un moyen simple pour apprécier l'importance des **pièges à eau** est, après obturation provisoire de tous les orifices non destinés à évacuer les eaux, d'arroser le tablier (ou attendre que la pluie le fasse). Cette méthode permet souvent d'apprécier si une action est nécessaire à ce niveau, voire de localiser les zones où une intervention s'impose et d'en préciser l'importance.

3.2.1.3. Critères

Les écarts inférieurs à ± 10 mm par rapport aux profils conventionnels ne nécessitent pas d'intervention au niveau du reprofilage. Ces différences correspondent aux tolérances des matériaux mis en œuvre dans le revêtement.

En ce qui concerne l'évacuation des eaux, des creux dont la profondeur est inférieure au centimètre sont également tolérés. Cette profondeur est soit mesurée par rapport à une base de 1 m, soit correspond à une profondeur maximale de stagnation d'eau.

3.2.2. La planéité locale

3.2.2.1. But

La planéité locale ($0,10 \text{ m} \leq \lambda < 1 \text{ m}$) est surtout importante lorsque l'étanchéité est du type feuille préfabriquée. Pour toutes ces feuilles, une adhérence homogène au support est recherchée. La rigidité propre à la feuille conditionne la manière dont celle-ci épouse les dénivellations locales du support. Des mesures effectuées au C.R.R. montrent que ce sont les dénivellations de faible λ (100 mm) qui peuvent le plus difficilement être suivies par les feuilles ; la souplesse des feuilles est en effet en général suffisante pour épouser les dénivellations du support de longueurs d'onde supérieures (**figure 3.4.**).

A titre d'exemple (figure 3.4.), une dénivellation locale (3 mm sur 100 mm) du support ne pourra être suivie par certaines feuilles d'étanchéité. Les risques de dégradation à cet endroit (notamment de cloquage) sont élevés.

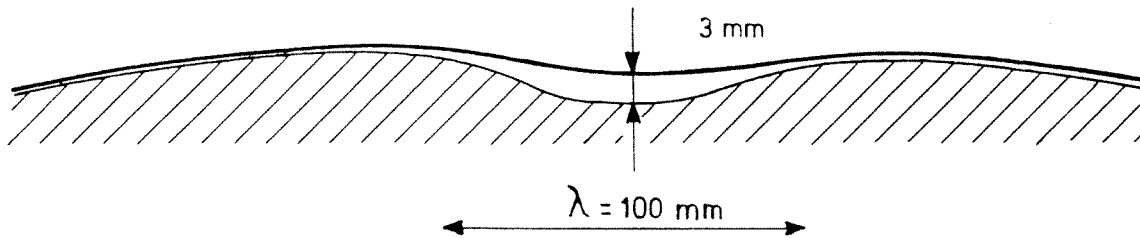


Fig. 3.4.
Pontage d'un creux du support par une
feuille préfabriquée

SOC 14.173/2

3.2.2.2. Modes de mesure

Un arrosage abondant du tablier et une inspection visuelle sont utiles pour détecter les zones de la dalle où la planéité est douteuse. Dans ces zones, les dénivellations locales du support peuvent être obtenues en mesurant, ponctuellement et manuellement, à l'aide d'un instrument adéquat (pied à coulisse par exemple), les écarts du support par rapport à une **règle de 100 mm** que l'on pose sur celui-ci. Des mesures automatiques et semi-continues peuvent être obtenues à l'aide de **profilomètres optiques ou mécaniques** dont un exemplaire a été mis au point au C.R.R. (réf. **22** pour le profilomètre mécanique).

3.2.2.3. Critères

Les dénivellations autorisées du support dépendent du type d'étanchéité. Le critère sera moins sévère pour les résines (du fait de leur fluidité) et pour les asphaltes coulés (du fait de leur non-adhérence).

Pour les feuilles préfabriquées, les dénivellations autorisées dépendent de la flexibilité de la feuille, mais aussi du mode de pose de celle-ci : les feuilles soudées, au moment de la fusion, se déforment bien au-delà de leur flexibilité à froid. De même le bitume de collage permet de reprendre une part des dénivellations. Par contre, pour les feuilles collées à l'aide d'une colle de contact, on ne peut compter que sur leur flexibilité propre.

Des mesures effectuées dans le cadre des planches expérimentales d'étanchéité de pont (réf. **13**) et en laboratoire au C.R.R. permettent de proposer les critères suivants :

Par rapport à une base de 100 mm, **la profondeur maximale des creux** est dangereuse, notamment pour la formation de cloques, à partir des valeurs suivantes :

- 4 mm pour les résines et les asphaltes coulés ;
- 3 mm pour les feuilles soudées ;
- 2 mm pour les feuilles collées au bitume ;
- 1 mm pour les feuilles collées à l'aide d'une colle de contact.

Il convient de signaler que plus le critère de planéité est sévère, plus la qualité de l'exécution devra être soignée et plus le coût risque d'en être élevé (cf. § 3.3.1.).

3.2.3. La texture

3.2.3.1. But

La texture ($\lambda < 100$ mm) concerne le relief de la surface du béton dont les caractéristiques peuvent influencer la tenue de l'étanchéité. En effet, des aspérités locales risquent de perforer l'étanchéité, tandis que des creux trop prononcés peuvent soit ne pas être remplis, soit occasionner des absences d'adhérence et donc des risques de cloquage.

La texture englobe ici non seulement la rugosité du béton mais également les discontinuités provenant de défauts locaux tels nids de gravier, granulats apparents, bulles occluses, etc...

3.2.3.2. Modes de mesure

L'essai à la **tache de sable** (à effectuer sur une zone ne présentant aucune dégradation) permet seulement de déterminer une valeur moyenne de la texture (réf. **23**). Il est très utile pour l'applicateur en vue de vérifier si le support est compatible avec la pose d'une résine, mais il faut tenir compte de son niveau de reproductibilité.

Toutefois, si l'on veut déterminer les discontinuités locales, il faut effectuer les mesures à l'aide de **profilomètres à aiguilles** (mesures manuelles et ponctuelles) ou de **profilomètres optiques** (mesures automatiques et semi-continues).

3.2.3.3. Critères

Dans le cas d'étanchéité du type résine il est recommandé d'obtenir une **hauteur de sable** < 1 mm (réf. **24**).

En ce qui concerne les **discontinuités locales (figure 3.5.)**, on admettra pour tous les types d'étanchéité :

- pour les creux et escaliers : les critères du § 3.2.2.3.

– pour les aspérités : limitation de leur hauteur à la demi-épaisseur de l'étanchéité.

Ici également, il y a un lien entre la sévérité de ce critère et la qualité, et donc éventuellement le coût, de l'exécution (cf. § 3.3.2.).

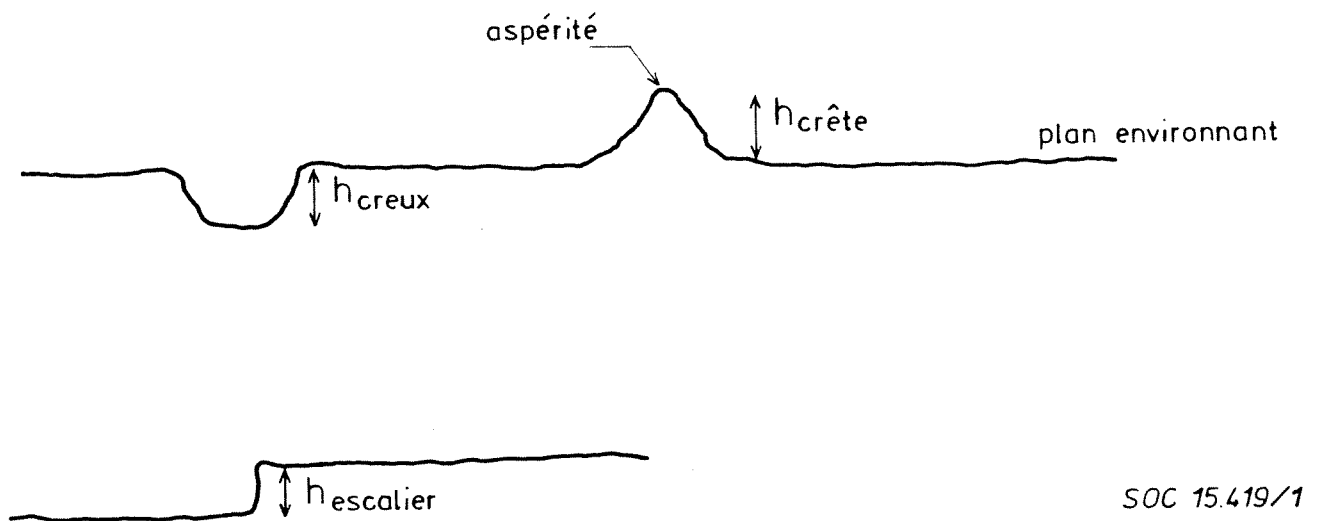


Fig. 3.5.
Texture du support

3.2.4. La résistance superficielle du béton

3.2.4.1. But

Lorsqu'une adhérence est nécessaire entre l'étanchéité et le support, ce dernier doit posséder des caractéristiques superficielles telles, que sa résistance à la rupture soit supérieure aux valeurs mentionnées ci-dessous.

De faibles résistances superficielles du béton sont dues généralement à des remontées excessives de laitance.

3.2.4.2. Modes de mesure

La mesure de la résistance de la peau du béton est généralement obtenue par un **essai d'arrachement** effectué sur des pastilles d'acier \varnothing 50 mm préalablement collées à l'aide d'un adhésif approprié.

Le mode opératoire est décrit dans la NBN B14-210.

3.2.4.3. Critères

Lorsque l'étanchéité est une résine, il est recommandé d'avoir une résistance à l'arrachement > 2 MPa.

Lorsque l'étanchéité est une feuille préfabriquée, on peut se contenter d'une valeur > 1 MPa.

Dans le cas d'asphalte coulé, l'essai est sans objet.

3.2.5. La fissuration du support

3.2.5.1. But

Malgré les mesures préventives, prises lors de l'exécution (cf. § 3.3.3.), une dalle de platelage en béton armé présente toujours un risque de fissuration.

Les fissures peuvent présenter un danger pour la structure de l'ouvrage lui-même (risque de corrosion des armatures) et/ou pour la pérennité de l'étanchéité (fissure de réflexion).

3.2.5.2. Mode de mesure

La largeur des fissures de la dalle de platelage est déterminée à l'aide du **fissuromètre** avec une précision de 0,1 mm.

3.2.5.3. Critères

Les fissures non actives d'une largeur moyenne inférieure ou égale à 0,2 mm sont tolérées sans qu'une réparation ne soit nécessaire. Il s'agit en général de fissures de retrait qui, du fait de leur faible ouverture, ne présentent pas de réel danger ni pour l'étanchéité ni pour le pont.

Les fissures actives et les fissures non actives dont l'ouverture moyenne est supérieure à 0,2 mm doivent être traitées.

3.3. L'EXECUTION DE LA DALLE DE PLATELAGE

Nous rassemblons ci-dessous quelques conseils pratiques qui, d'une part concourent à satisfaire les exigences relatives au support, décrites en 3.2., (compatibilité avec l'étanchéité, absence de pièges à eau et de reprofilage) et qui, d'autre part, concernent l'exécution aux abords des points singuliers du support.

Ces recommandations s'inspirent principalement de la réf. **24**. Insistons sur le fait que le choix d'un type d'étanchéité entraîne des exigences (planéité – texture – résistance superficielle) au niveau de son support, exigences dont il convient de tenir compte au moment de l'exécution de la dalle de platelage.

3.3.1. Le respect des profils et de la planéité locale

3.3.1.1. *Grandes dénivellations*

Les **repères de nivellement** constituent évidemment la base du respect des profils. Si des repères secondaires sont choisis dans le coffrage ou les armatures, ils doivent l'être sur des éléments non susceptibles de se déplacer au cours des diverses phases du bétonnage.

Les **tassements** des cintres et étaitements doivent être maîtrisés (connus et contrôlés).

Le **programme du bétonnage** doit être étudié avec soin.

Le **décoffrage** des structures et la **mise en précontrainte** seront effectués au moment opportun c'est-à-dire celui où la résistance du béton est suffisante.

Lorsque la dalle de platelage est réalisée en deuxième phase (c'est-à-dire structure porteuse en poutres préfabriquées), on profitera de l'occasion pour rattraper la part qui convient des **contreflèches** des poutres préfabriquées.

3.3.1.2. *Dénivellations moyennes et planéité locale*

Le système le plus couramment utilisé pour dresser la surface du béton est celui du **madrier** ou de la **petite poutre vibrante glissant sur les règles de guidage**. Ces règles de guidage doivent être solidement fixées au niveau exact afin de ne subir aucun déplacement relatif durant le bétonnage, notamment suite au serrage du béton et au déplacement du madrier ou de la poutre. Ces règles doivent pouvoir être déplacées ou enlevées aisément en occasionnant un minimum de dégâts au béton. A chaque déplacement, on s'assurera de l'exactitude de leur niveau. Un système permettant un réglage de niveau est recommandable.

Le madrier ou la poutre doivent présenter une surface correctement dressée et indéformable.

Marcher dans le béton frais, après avoir réglé sa surface, est à proscrire dans toute la limite du possible ; le rebouchage des traces de pas est, en effet, souvent responsable des déficiences locales de la planéité. Toutes les opérations s'effectuant sur le béton frais, après le réglage de celui-ci (par ex. talochage, enlèvement des règles de guidage), doivent se faire sans prendre appui sur le béton frais dressé (par ex. une planche s'appuyant sur le béton durci ou sur d'autres points d'appui indéformables).

Si le système des règles de guidage et du madrier peut se justifier pour des ponts étroits ou de faible largeur (< 15 m), son emploi dans les ponts larges et longs nécessite l'utilisation et le déplacement d'une quantité de règles de guidage qui constituent autant de points de discontinuité des profils en long et en

travers susceptibles d'entraîner des problèmes de planéité de la surface. Pour ces ponts, il serait souhaitable de recourir à l'usage de **grandes poutres réglées** qui s'appuient **sur des rails**, situés à l'extérieur de la surface à bétonner. Ces poutres sont généralement équipées d'outils permettant la mise en place du béton, sa vibration et son talochage. Ce système évidemment plus coûteux que le système traditionnel du madrier ou de la petite poutre présente cependant de nombreux avantages :

- Dressage à la bonne cote du béton sur toute la largeur du tablier, sans aucune discontinuité intermédiaire ;
- Possibilité de réglage du profil, permettant notamment d'y prévoir des angles (profil en toit par ex.) ;
- Possibilité d'accéder en tout point de la surface sans devoir circuler dans le béton frais ;
- Possibilité de réaliser le talochage.

De tels systèmes sont utilisés couramment aux U.S.A. et dans d'autres pays. S'il n'est pas encore utilisé en Belgique pour les tabliers de ponts, signalons cependant qu'un appareillage analogue est couramment utilisé en Belgique pour la confection des revêtements routiers en béton de ciment.

Il convient de signaler que le choix de l'outil utilisé pour dresser la surface du béton ainsi que le soin, voire la précision, nécessaires à la réalisation de cette surface, sont fonction des critères de planéité que l'entrepreneur doit respecter (cf. § 3.2.2.3.) et qui eux-mêmes dépendent principalement du type d'étanchéité choisie.

3.3.2. La texture et la résistance superficielle du béton

Après dressage du béton, sa surface présente généralement un aspect assez grenu faisant apparaître bon nombre de gros granulats. En vue de rendre cette surface compatible avec la pose d'une étanchéité, le béton frais, immédiatement après son réglage, est taloché. **Le talochage** a pour objet de travailler superficiellement le béton en vue d'obtenir une surface plus ou moins lisse par enfoncement des gros granulats et par remontée partielle du mortier. Il s'agit ici de réaliser un compromis, car une action trop énergique serait sans doute bénéfique pour la texture, mais ferait chuter d'une manière importante la résistance superficielle du béton par suite des remontées de laitance.

Le talochage se fait la plupart du temps manuellement, mais peut être automatisé : outil de talochage placé sur la grande poutre réglée, hélicoptère (réf. 24).

Ici également, le choix de l'outil et le soin apporté à son emploi sont fonction des critères à respecter pour la texture (cf. § 3.2.3.3.).

Quel que soit le système utilisé, le talochage ne peut occasionner aucun dégât au béton déjà dressé (pas de trace de pas, par ex.).

3.3.3. La fissuration du support

Il est essentiel de pouvoir contrôler la fissuration du support, car une fois qu'elle s'est développée, il est très difficile d'y remédier. **Les facteurs qui interviennent dans son développement sont :**

- **la formulation** du béton ;
- **le serrage** du béton (une vibration trop énergique peut développer la fissuration) ;
- **la protection superficielle** du tablier : il est essentiel d'assurer la protection du béton dans son plus jeune âge ; son retrait hygrothermique est fonction de sa formulation et des conditions climatiques. Humidification ou «curing compound» sont souvent indispensables ; il convient de vérifier si le «le curing compound» choisi est compatible avec l'étanchéité sélectionnée. En effet certains «curing compound» contiennent des matières organiques ou des huiles grasses qui sont aussi des agents de démoulage. Ils empêchent donc l'adhérence de l'étanchéité lorsque celle-ci est requise (feuilles préfabriquées).

3.3.4. Exécution aux abords des points singuliers du support

- Les événements, gargouilles, avaloirs et autres **points singuliers** inclus avant bétonnage, dans le tablier, seront fixés de manière telle qu'ils ne puissent être déplacés au cours du bétonnage. Leurs extrémités seront obturées provisoirement de manière à empêcher toute pénétration du béton.
- On veillera tout particulièrement à la régularité des **arrondis** situés aux changements de direction du support. Précisons à ce sujet qu'il vaut mieux réaliser les arrondis concaves lors du bétonnage à l'aide d'un coffrage adéquat (1/4 de tuyau par ex.) plutôt que de les ajouter par après par ragréage. Les arrondis convexes sont d'ordinaire réalisés par meulage.
- Un soin tout particulier sera apporté à la réalisation du bétonnage aux **abords immédiats des dispositifs de collecte des eaux et des joints de dilatation :**
 - Compte tenu de ce que ce béton se situe aux abords immédiats de pénétrations abondantes d'eau et de ce qu'une défaillance de l'étanchéité est toujours possible, il est impératif d'y soigner la qualité de l'exécution, notamment en évitant tout espace entre le béton et le point singulier (également sous les parties horizontales de celui-ci).
 - Pour permettre un raccordement correct de l'étanchéité du support au point singulier, il faut qu'à sa jonction avec l'élément singulier, le plan du support se situe dans le prolongement (niveau

et inclinaison) de la surface de l'élément singulier sur laquelle doit se raccorder l'étanchéité. La surface de raccordement entre ce point et le plan du tablier ne peut pas présenter de discontinuités brusques (raccords arrondis aux deux extrémités). Les pentes maximales, la planéité et la texture de cette zone de raccord doivent être telles qu'elles soient compatibles avec le type d'étanchéité prévu.

3.3.5. Jauges de contrôle de l'efficacité de l'étanchéité dans le temps

Pour permettre le fonctionnement du système de contrôle (cf. § 4.4.4.) il faut veiller à :

- assurer un contact électrique parfait entre le lit supérieur d'armature et le boîtier de mesure (prévoir un câble de connection),
- installer les électrodes dans la peau du béton. Pour ce faire des rainures régulières (10 mm de profondeur) en communication avec une busette doivent être ménagées soit par réservation adéquate lors du bétonnage soit par meulage après bétonnage.

3.4. LES TRAITEMENTS SPECIAUX DE LA DALLE DE PLATELAGE APRES BETONNAGE

Il s'agit ici de traitements spécifiques dont doivent faire l'objet certaines dalles de platelage afin de les rendre aptes à servir de support à une étanchéité déterminée. **Ces traitements servent** en général à **corriger des défauts** provenant de la mise en œuvre ou inhérents à certains procédés d'exécution. Outre qu'ils sont coûteux, les résultats des traitements ne sont pas toujours garantis. **Ils sont donc à considérer comme des pis-aller qu'il vaut mieux éviter en améliorant la qualité de l'exécution** (plus grand soin, choix d'un matériel ou d'un procédé mieux adapté).

Certains de ces traitements relèvent en fait des techniques de réparation. On se réfère donc utilement aux ouvrages spécialisés en la matière : par ex. réf. **25** et **26**.

Compte tenu de l'impact que peuvent avoir ces traitements sur la qualité du support, il n'est pas superflu de consulter l'étancheur avant et pendant leur exécution.

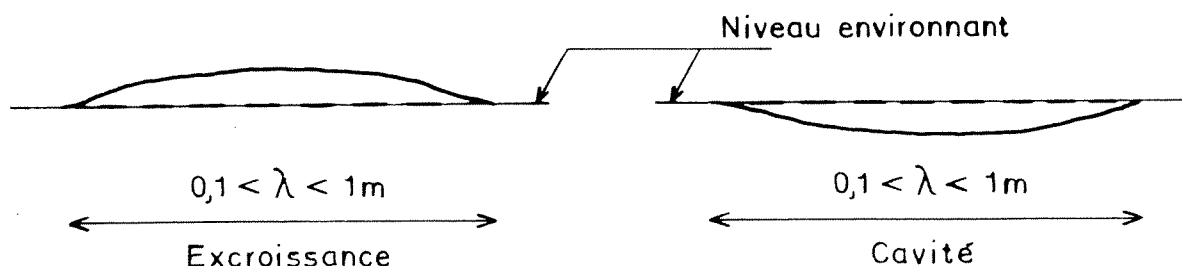
Si malgré ces traitements spéciaux, les critères du § 3.2. ne peuvent être respectés, il pourrait en résulter la nécessité d'adapter la conception du revêtement, voire le choix de l'étanchéité.

3.4.1. Les profils

Signalons d'emblée que la correction des profils ($\lambda \geq 1$ m) ne se fait pas nécessairement au niveau de la dalle de platelage. Elle peut également se faire au niveau du revêtement. Le choix, les avantages et inconvénients de l'un ou l'autre type de **reprofilage**, ainsi que leurs modes d'exécution, seront abordés au chapitre 6.

3.4.2. La planéité

Pour améliorer la planéité du support, on peut agir sur les excroissances et/ou sur les cavités (**figure 3.6.**).



SOC 14.172 / 1

Fig. 3.6.
Défauts de planéité du support

Les excroissances du béton peuvent être arasées par **rabotage ou bouchardage**. On veillera à n'utiliser que des machines dont les dimensions sont en rapport avec la grandeur de défauts à traiter. Après traitement, il convient de vérifier si la texture est encore compatible avec la pose de l'étanchéité. Dans la négative, un traitement complémentaire s'impose (cf. § 3.4.3.). Notons que (réf. 24) le bouchardage a pour effet de diminuer sensiblement la résistance superficielle du béton. Ce procédé ne convient donc pas lorsqu'une résistance de ce type est recherchée. L'écrêtement des excroissances ne peut être entrepris que si l'épaisseur résiduelle de recouvrement des armatures reste suffisante après arasement. On utilisera pour ce contrôle tout moyen d'investigation indispensable (par ex. le pachomètre – réf. 27). Si l'arasement n'est pas possible pour des raisons de recouvrement des armatures, on corrigera la planéité en raccordant l'excroissance au plan environnant par comblement des volumes adjacents.

Les cavités seront comblées suivant les techniques afférentes au **ragréage** au niveau du support (cf. § 3.4.7.).

3.4.3. La texture

Pour rappel, la texture concerne les « λ » < 100 mm. Nous distinguerons les creux, les nids de gravier, les aspérités et la rugosité.

3.4.3.1. Les creux

- **Les grandes cavités** (profondeur > 10 mm et/ou surface > 1000 mm²) doivent être comblées à l'aide des techniques de **ragréage** décrites au § 3.4.7.
- **Les petites cavités** (profondeur \leq 10 mm et surface \leq 1000 m²) peuvent être également comblées, quelque soit le type d'étanchéité, à l'aide des techniques de **ragréage** décrites au § 3.4.7. Leur emploi est obligatoire dans le cas où l'étanchéité n'est ni du type asphalte coulé, ni du type feuille préfabriquée soudée ou collée au bitume (par ex. feuille collée à l'aide d'une colle de contact ou résine).

Lorsque l'étanchéité est du type asphalte coulé ou feuille soudée ou collée au bitume, ces cavités peuvent être **comblées** à l'aide **soit d'asphalte coulé, soit de bitume pur, soit d'un mélange de bitume et de filler** provenant par ex. de la fusion d'une feuille préfabriquée en bitume armé.

3.4.3.2. Les nids de gravier

Il y a lieu de **décaper** le béton de mauvaise qualité jusqu'au niveau du béton sain ; le creux ainsi formé est alors comblé suivant les techniques de **ragréage** (§ 3.4.7.).

3.4.3.3. Les aspérités

Toutes les aspérités sont à éliminer par **meulage ou rabotage**.

3.4.3.4. La rugosité

Si les critères relatifs à la tache de sable ne sont pas respectés, on effectuera un **meulage** de la surface à l'aide de machines de faible largeur de manière à ne pas effectuer en même temps des corrections intempestives de profil ou de planéité.

Si les zones défectueuses sont localisées, on peut tenter de corriger la texture **en ragréant** ces zones à l'aide d'un mortier dont la structure et la granulométrie sont adaptées au relief à obtenir (§ 3.4.7).

On peut se libérer partiellement du critère lié à la rugosité en **augmentant l'épaisseur nominale de la couche de résine** de manière à obtenir en tout point le minimum requis pour cette couche. Cette augmentation d'épaisseur s'obtiendra par une augmentation des quantités répandues ou en augmentant le nombre de passes.

3.4.4. La résistance superficielle du béton

Cette résistance est indispensable au cas où une adhérence est recherchée entre l'étanchéité et son support.

Une mauvaise résistance superficielle peut être due soit à un défaut de qualité du béton, soit à une surabondance de laitance.

- Dans le cas de **surabondance de laitance**, seul un traitement mécanique présente une certaine efficacité :
 - les techniques les plus utilisées à cet effet sont le sablage et le décapage à l'eau sous pression. Notons qu'il existe également un procédé de sablage sans poussière (récupération de l'abrasif) (réf. 24) qui réduit fortement les nuisances à l'environnement du procédé de sablage classique,
 - le décapage à l'acide n'est pas pour l'instant à recommander compte tenu des risques de corrosion des armatures,
 - le décapage thermique est très délicat. Ce procédé est en effet très sensible à la température de la flamme et à la durée de son application. En cas de surchauffe, le risque de fissuration du support est élevé,
 - remarquons que ces traitements sont susceptibles de modifier la texture du béton et qu'une intervention ultérieure sera donc éventuellement nécessaire à ce niveau.
- On peut espérer améliorer la résistance superficielle d'un **béton de mauvaise qualité** à l'aide d'une imprégnation par un matériau de renforcement à base de liant résineux réactif (§ 3.4.7.1.3.). A titre d'exemple ces primaires d'imprégnation contiennent 50% de liant, 50% de solvant et 0% de charges.
- **La solution mixte** (élimination de la laitance suivie d'une imprégnation de surface) se justifie dans certains cas.

3.4.5. La fissuration du béton

- Lorsque l'on constate la présence de fissures non-actives de plus de 1 mm de largeur, ou l'apparition de fissures actives sous l'action d'un trafic normal de chantier, il convient d'effectuer un examen complémentaire en vue de déterminer les causes et les modes de réparation.
- Les fissures non actives de largeur moyenne supérieure à 0,2 mm et inférieure à 1 mm seront injectées à l'aide de résine époxyde pure. Un coulis de ciment peut également convenir pour l'obturation des fissures de très faible ouverture ($\leq 0,3$ mm).

3.4.6. Les nettoyages et interventions spéciales

Nous distinguerons l'enlèvement des coulis d'injection, le nettoyage des surfaces souillées par de l'huile ou du mazout, l'arasement des fers à béton.

3.4.6.1. *Coulis d'injection*

Leur enlèvement est indispensable au cas où une adhérence est nécessaire entre l'étanchéité et son support.

Le mieux est d'éviter que ces coulis d'injection se répandent sur le tablier en les récoltant par exemple dans un récipient.

Les plaques de coulis d'injection sont **à arracher** soit manuellement (pioche ou tout autre outil tranchant) soit mécaniquement par rabotage, sablage ou décapage à l'eau sous pression.

3.4.6.2. *Taches d'huile ou de mazout*

Il est indispensable de débarrasser le support de ces souillures car ces produits sont incompatibles avec la plupart des étanchéités (incompatibilité chimique ou risque de bullage par suite d'évaporation des solvants).

Pour les éviter, il convient de prendre des dispositions pour récolter l'huile ou le mazout avant que ces produits ne souillent le béton en plaçant par exemple un bac ou un récipient sous les engins stationnant sur le tablier (par ex. les compresseurs).

On utilisera généralement des **détergents**. Après action du détergent, le support devra être lavé à l'eau sous pression de manière à le débarrasser de toute trace de souillure et de détergent. Un décapage léger au chalumeau peut également être utilisé à condition qu'il n'écaille pas le béton.

3.4.6.3. *Arasement des fers à béton et autres tuyaux*

Tous les tuyaux (évents ou tuyaux d'injection par ex.) ou fers à béton (crochets de levage d'éléments préfabriqués par ex.) qui émergent de la surface du tablier doivent au minimum être **arasés** au niveau de la face supérieure de la dalle de platelage afin qu'ils ne constituent en aucun cas une gêne pour la pose et la tenue de l'étanchéité.

Il est toutefois préférable de découper les fers à béton et tuyaux métalliques à environ 30 mm de la surface du béton et de reboucher le trou ainsi créé à l'aide de mortier de résine.

Les tuyaux métalliques et fers à béton qui ont été arrasés à la surface de la dalle de platelage seront traités comme suit : après les avoir débarrassés de toute trace de rouille, les extrémités des armatures et des

tuyaux métalliques devront être recouvertes d'une résine afin de les protéger efficacement contre tout processus de corrosion risquant de mettre l'étanchéité en péril.

3.4.7. Le ragréage de la dalle de platelage

Le ragréage concerne le comblement des creux et cavités de petites dimensions ($\lambda < 1 \text{ m}^*$) du support à l'aide de mortier. Le traitement des surfaces plus importantes relève du reprofilage qui sera traité au § 6.4. Des informations complémentaires peuvent être trouvées aux réf. **25** et **26**.

3.4.7.1. Matériaux utilisables

Signalons d'emblée que **les formulations à base de liants hydrauliques ordinaires ne conviennent pas** pour ce genre d'application. La mauvaise tenue des ragréages de ce type résulte de leurs adhésion et cohésion relativement faibles, de leur faible résistance aux chocs mécaniques et thermiques, de leur retrait important (surtout en couche mince sans «curing compound») et de leur porosité élevée.

On utilisera donc, pour les ragréages, des mortiers à liant hydraulique modifié ou des mortiers à liant résineux réactif.

Ci-dessous une brève description des diverses formulations utilisées.

3.4.7.1.1. Formulations à base de liant hydraulique modifié par des polymères non réactifs (LHM)

La gamme de ces matériaux est vaste ; elle est fonction du type de polymère, du pourcentage de polymère, de la précision avec laquelle le polymère est introduit dans le mélange, de la présence d'autres additifs, etc...

Actuellement, on s'oriente (réf. **26**) vers l'**homologation** de matériaux répondant aux critères suivants :

- le matériau est livré sur chantier en emballage prédosé :
 - soit à deux composants :
 - composant A : liquide (généralement un latex ; c'est-à-dire une dispersion aqueuse colloïdale d'un matériau polymérique),
 - composant B : solide (essentiellement constitué de ciment et de sable),
 - soit à un composant contenant le ciment, le sable, le polymère présent sous forme d'une poudre dispersable à l'eau, le deuxième composant (l'eau) étant ajouté sur chantier ;

* cf. § 3.2.

- le teneur en polymère (matière sèche) est située entre 5 et 20 % en masse du ciment ;
- le polymère est non réactif et ne subit donc pas de modifications chimiques pendant et après sa mise en œuvre.

3.4.7.1.2. Formulation à base de liant hydraulique modifié par des liants polymériques réactifs

Ces formulations, actuellement au stade expérimental, sont apparues récemment sur le marché. Elles se composent de deux liants qui réagissent simultanément, à savoir le couple «ciment-eau» et le couple «résine-durcisseur». Il n'existe pas encore de spécifications concernant ces matériaux.

3.4.7.1.3. Formulations à base de liant résineux réactif

Il s'agit de formulations ne contenant ni ciment ni eau. Le type de résine, la teneur en charges et la granulométrie sont adaptés aux conditions de mise en œuvre et de service ainsi qu'à l'épaisseur de la couche. Les résines utilisées sont des époxydes, des polyuréthanes, des acryliques, etc...

A titre d'exemple, un mortier de ragréage peut avoir la composition suivante : 15 % de liant, 85 % de charges, 0 % de solvant. Une **procédure d'homologation** des matériaux et des techniques de ragréage* a été mise au point pour les ouvrages destinés au Ministère des Travaux Publics par le Deuxième Division du Bureau des Ponts. Quelques matériaux de ragréage commercialisés en Belgique satisfont aux exigences de cette procédure.

3.4.7.2. *Choix des matériaux et systèmes de ragréage*

3.4.7.2.1. Critères de choix

Les critères de choix vont dépendre de nombreux facteurs :

- du volume et de l'épaisseur à mettre en œuvre et de leurs implications sur le coût de l'intervention ;
- du type de système d'étanchéité et des moyens utilisés pour la mise en œuvre de celui-ci (solllicitations mécaniques, thermiques, chimiques) ;
- de la durée disponible et des conditions climatiques probables au moment de la mise en œuvre ;
- du type de surface (horizontale ou verticale) ;
- des solllicitations de service.

* A noter cependant qu'il s'agit de techniques de ragréage en général et non de cas de ragréages spécifiques aux platelages de pont.

3.4.7.2.2. Comparaison des caractéristiques des divers systèmes

Le **tableau 3.1.** établit une comparaison des caractéristiques des divers systèmes proposés.

3.4.7.2.3. Exigences communes

Tous les matériaux devront :

- être compatibles (chimiquement et mécaniquement) avec les matériaux adjacents (support et système d'étanchéité) ;
- être applicables dans des conditions normales de chantier ;
- supporter les sollicitations de mise en œuvre des autres éléments et les sollicitations de service de l'ensemble (par exemple le choc thermique lors de la mise en œuvre de certaines étanchéités).

3.4.7.2.4. Nécessité d'une couche d'adhérence

Il y a toujours intérêt à obtenir une bonne adhérence entre le ragréage et son support. Les mortiers de ragréage à base de liants résineux réactifs possèdent des qualités d'adhésion telles qu'une couche spécifique d'adhérence n'est pas nécessaire. Par contre, l'usage d'une telle couche est **recommandé en cas d'emploi de mortiers à base de liants hydrauliques modifiés par des polymères.**

Le choix du type de couche d'adhérence est fonction des sollicitations à supporter et du coût de l'adhésif. Les couches d'adhérence à base de liants résineux réactifs (cf. § 3.4.7.1.3.) présentent les performances les plus élevées. A titre d'exemple ceux-ci contiennent de 50 à 100 % de liant, 0 % de solvant, le restant étant constitué de charges.

3.4.7.3. Exécution du ragréage

Les techniques de mise en œuvre d'un ragréage peuvent être assimilées à celles des réparations des éléments en béton des ouvrages d'art. On trouvera des **recommandations** à ce sujet aux réf. **25** et **26**. On peut également s'inspirer des principes généraux inclus au § 4.3.4. concernant la mise en œuvre des résines d'étanchéité.

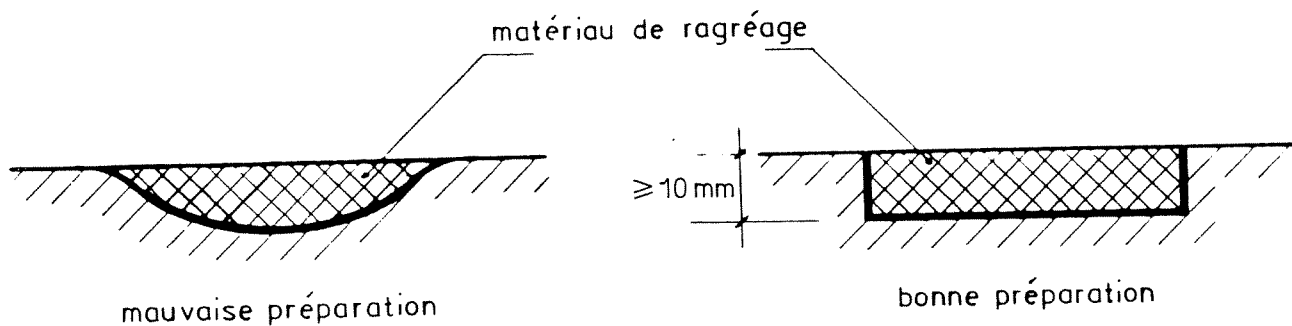
Insistons toutefois sur la **nécessité de préparer correctement le support :**

- Les surfaces seront préparées de façon à promouvoir une bonne adhérence mécanique entre le support et le matériau d'apport ;
- Les extrémités des surfaces à ragréer seront traitées par rabotage pour éviter les zones à faible épaisseur (**figure 3.7.**).

TABLEAU 3.1.
Comparaison des diverses formulations pour mortiers de ragréage

Formulations à base de Caractéristiques	Liant hydraulique courant (pour mémoire)	Liant hydraulique modifié par des polymères non réactifs	Liant hydraulique modifié par des polymères réactifs	Liant résineux réactif
Adhésion et cohésion	-	+	++	+++
		L'adhésion du ragréage peut être améliorée en interposant une couche d'adhérence à base de liant résineux réactif		
Résistance au choc	-	+	++	+++
Absence de retrait	-	+	+	++
Absence de porosité	-	+	++ (car E/C plus faible)	+++
Insensibilité au support humide	+++	+++	++	+/- (d'après formulation)
Facilité de mise en œuvre	+++	++	+ Délicat : deux réactions chimiques simultanées (hydratation du ciment et réticulation de la résine)	+ Main d'œuvre spécialisée
Rapidité d'exploitation (mise en œuvre de la couche supérieure)	+ (plusieurs jours)	+ (plusieurs jours)	+ (plusieurs jours)	+++ (quelques heures ou dizaines d'heures)
Faible coût	+++	++	+	-

Note : Les appréciations (-, +, ++, +++) indiquent pour chaque caractéristique une gradation des performances; le produit indiqué +++ étant le plus performant pour le critère considéré.



SOC 15.4.20/1

Fig. 3.7.
Préparation du support en vue d'un ragréage

3.4.7.4. Contrôles

Rappelons qu'un ragréage n'est qu'un emplâtre. L'expérience nous montre en outre que le succès des ragréages n'est pas évident. A ce titre, il est justifié d'exercer un contrôle renforcé tant sur les matériaux utilisés que sur la qualité de l'exécution.

3.4.7.4.1. Vérification de la validité d'un système proposé

- a) **Le système proposé a fait l'objet d'un programme d'essais d'homologation spécifique** par la Deuxième Division du Bureau des Ponts. Dans ce cas, avant et pendant les travaux, il suffira de procéder à quelques essais de réception pour s'assurer que les matériaux mis en œuvre sur chantier sont identiques aux matériaux qui ont subi l'ensemble des essais d'homologation.
- b) **Le système proposé n'a pas encore fait l'objet d'un programme d'essais d'homologation.** Il sera utile de réaliser un modèle du système (support, ragréage ou reprofilage, système d'étanchéité, éventuellement les couches supérieures). Tous les composants du système seront appliqués dans leurs conditions normales de mise en œuvre (température et contrainte mécanique).
Seront évaluées : les modifications de composition, les propriétés intrinsèques et les performances des éléments du modèle à l'état intact après application du système complet d'étanchéité et après vieillissement de l'ensemble.

3.4.7.4.2. Contrôle a posteriori

Avant l'application du système d'étanchéité, on procédera au contrôle des zones reprofilées ou ragréées. Ce contrôle portera sur **les caractéristiques des supports définies au § 3.2. et sur l'adhérence de la couche rapportée** (essais d'adhérence par traction).

4. LA COUCHE D'ETANCHEITE

Rôle

La couche d'étanchéité doit constituer une **barrière** efficace et durable **à toute pénétration d'eau** – éventuellement chargée de sels de déneigement – dans la superstructure de l'ouvrage d'art en vue d'y éviter les risques de désagrégation du béton et de corrosion d'armatures et de fils ou de torons de précontrainte.

Caractéristiques

Par ailleurs, cette couche d'étanchéité doit posséder des **caractéristiques intrinsèques telles qu'elles ne puissent influencer défavorablement la tenue des couches supérieures du revêtement.**

Outre l'imperméabilité à l'eau, on peut définir ci-dessous les **principales qualités que doit posséder, dans des conditions normales d'utilisation, une étanchéité de pont :**

- résistance élevée à la déformation, qu'il s'agisse de poinçonnement, d'orniérage, de fluage, de retrait thermique ou de déformations résultant de l'application d'efforts horizontaux ;
- résistance élevée à la fissuration, qu'elle soit d'origine thermique (retrait empêché), qu'elle provienne de la fatigue en flexion ou des mouvements des fissures du support ;
- résistance aux agents chimiques tels que huiles, mazout, sels de déneigement ;
- compatibilité avec le bitume ;
- aptitude à pouvoir étancher toutes les parties du support (y compris verticales) et à pouvoir se raccorder correctement à tous les points singuliers ;
- compatibilité avec les types usuels de couches de protection (béton bitumineux ou asphalte coulé), c'est-à-dire :
 - pour l'étanchéité : principalement absence de perforation, de cheminement, de cloquage ou de toute autre altération et notamment résistance au choc thermique,
 - pour la couche de protection : principalement absence de glissement, de fissuration et de contamination dus à l'étanchéité ;
- faible sensibilité au vieillissement, c'est-à-dire maintien à un niveau acceptable de toutes ces performances tout au long de la durée de vie de l'étanchéité.

4.1. TYPES D'ETANCHEITE

Deux types de matériaux sont essentiellement utilisés pour réaliser l'étanchéité des ouvrages d'art : **l'asphalte coulé et les feuilles préfabriquées.**

Quoique leur formulation et leur technologie nécessitent encore des mises au point, nous mentionnerons également les résines coulées en place, dans la mesure où celles-ci sont utilisées pour étancher certains points singuliers du support (leur utilisation sur la totalité d'un tablier en béton demeure exceptionnelle).

Nous donnons ci-dessous une courte description de ces matériaux tels qu'ils sont actuellement utilisés.

4.1.1. L'asphalte coulé

L'asphalte coulé pour étanchéité est un mélange de sable, de filler (particules $< 80 \mu\text{m}$) et de liant bitumineux, fabriqué en centrale d'enrobage et malaxé à température élevée. Lors de sa pose, la température du mélange varie normalement entre 200°C et 240°C . A cette température, sa viscosité est telle que l'asphalte coulé se met en place par simple épandage (il est étendu généralement à la raclette) et ne nécessite aucune compaction.

L'asphalte coulé d'étanchéité est exécuté **soit en 2 couches** (épaisseur totale = 15 mm) **soit en 1 couche** (10 mm). Dans ce dernier cas, il doit nécessairement être surmonté d'une couche de protection en asphalte coulé (cf § 5.2.1.). Il est, en effet, difficile d'éviter l'occlusion de bulles d'air dans les mélanges coulés in situ, mais il est fort improbable (et c'est le rôle de la 2e couche) que les défaillances de la 2e couche correspondent à celles de la première. En outre, la pose de la 2e couche d'asphalte coulé ressoude partiellement les défaillances de la 1ère couche. La couche inférieure est toujours, sauf cas particulier, placée **en non-adhérence** sur son support.

Il existe **diverses variantes** d'asphalte coulé se différenciant par le pourcentage et le type de liant (divers type de bitumes non modifiés ou de mélanges de bitumes et de divers polymères*) et par le pourcentage de filler. Dans tous ces mélanges, le volume occupé par le mastic est supérieur au volume de vides du squelette minéral résiduel (sable + pierres), ceci en vue d'assurer l'étanchéité du mélange; toutefois à chaque formulation correspondent des propriétés spécifiques du mélange, telle une meilleure stabilité à la déformation permanente (poinçonnement, fluage) ou encore une résistance accrue à la fissuration par fatigue ou par fragilité à basse température.

* Actuellement l'APP et le SBS

4.1.2. Les feuilles préfabriquées

A l'inverse de l'asphalte coulé qui est un matériau fabriqué «sur mesure» (leur formulation peut être adaptée à la demande), les feuilles préfabriquées sont des produits «d'usine», en principe de caractéristiques constantes répondant soit à des prescriptions officielles (par ex. NBN B 46.101), soit à un agrément technique* et/ou à certaines performances garanties par le fabricant.

Les feuilles préfabriquées sont actuellement toujours posées en adhérence. La manière de réaliser cette adhérence varie d'un type de produit à l'autre (collage au bitume, soudure à la flamme, colle de contact...). Suivant leurs performances et le degré de sécurité recherché, les feuilles sont utilisées soit en monocouche, soit en deux couches du même produit ou de produits différents.

Il existe une grande variété de feuilles préfabriquées d'étanchéité, mais on peut les diviser en trois grandes classes.

4.1.2.1. Les feuilles à base de bitume non modifié

Il s'agit de tous les produits repris à la norme NBN B 46-101 (feutres ou voiles de verre bitumés et tous les bitumes armés). Ces feuilles possèdent un très faible allongement à la rupture (inférieur à 10%) et une faible résistance à la perforation. Du fait de leurs faibles performances ces feuilles sont généralement placées en deux couches superposées collées au support et entre elles – ainsi qu'éventuellement surfacées – à l'aide de bitume. Certaines peuvent également être soudées.

4.1.2.2. Les feuilles à base de bitume-polymère

Le polymère généralement utilisé est l'APP. Ces feuilles d'une épaisseur de 4 à 5 mm, possèdent une armature en produits textiles performants (généralement un non-tissé de polyester).

Leur allongement à la rupture est généralement compris entre 30 et 75%. Leur résistance à la perforation dépend entre autres du type et de la masse de l'armature utilisée.

Ces feuilles s'emploient d'ordinaire en monocouche et sont soudées au support.

* Notons que le seul agrément technique qui existe actuellement ne concerne pas spécifiquement les feuilles d'étanchéité pour ouvrage d'art, mais bien les feuilles pour couvertures de bâtiments.

4.1.2.3. *Les produits synthétiques (généralement non armés) tels le PVC, ou le butyl*

C'est dans cette classe de produits que l'on trouve les feuilles à allongement à la rupture élevé (supérieur à 75 % mais généralement inférieur à 300 %) et à résistance élevée au poinçonnement. Ils sont généralement utilisés en monocouche et collés au support.

4.1.3. **Les résines coulées en place**

Le mélange résineux destiné à assurer l'étanchéité du support est fabriqué sur place en mélangeant suivant des proportions très précises, la résine, le durcisseur et les charges jusqu'à homogénéisation complète. Le mélange est alors projeté (rampe ou pistolet) ou épandu (brosse, raclette, rouleau...) ou encore, si sa viscosité l'exige, étendu à la palette.

Outre les couches d'accrochage (au support et au revêtement), le complexe d'étanchéité est soit mono- soit bicouche. Son épaisseur totale ne dépasse guère 3 mm.

La caractéristique commune à tous les mélanges résineux est de posséder une excellente adhérence au béton. Leurs autres propriétés (modules, allongement à la rupture, dilatation thermique, vieillissement) sont fonction de leur formulation. Actuellement, les composants de base des mélanges sont les résines époxyde et polyuréthane.

4.2. **CHOIX DE L'ETANCHEITE**

Il convient tout d'abord de choisir le type d'étanchéité (voir § 4.1) et ensuite de fixer son choix parmi les diverses formulations ou les divers produits disponibles sur le marché.

4.2.1. **Choix du type d'étanchéité**

Il n'existe pas actuellement sur le marché des matériaux d'étanchéité de ponts, des produits qui réunissent en toutes circonstances, toutes les qualités définies au § 4. Le choix du type de matériau devra chaque fois être adapté au cas précis de l'ouvrage.

Il se peut même que plusieurs types de produits soient nécessaires sur le même ouvrage en fonction de situations locales particulières (ex. zone des corniches étanchées à l'aide de feuilles préfabriquées, alors que le reste de l'étanchéité est en asphalte coulé).

En rapport avec le choix du type d'étanchéité, nous abordons ci-dessous les aspects suivants :

- procédure de choix,
- principaux facteurs influençant le choix,
- domaines préférentiels d'utilisation des divers types d'étanchéité.

4.2.1.1. *Procédure de choix*

Le choix s'effectue en sélectionnant les critères de qualité (décrits au début du § 4) les plus importants pour le cas particulier du pont considéré et en choisissant le type d'étanchéité qui est le plus performant à l'égard des critères choisis. On peut faire usage à cet effet du **tableau 4.1.** qui établit in extenso la comparaison des caractéristiques et performances pour les divers types d'étanchéité.

Toutefois en vue de faciliter un choix rapide de l'étanchéité, le **tableau 4.2.** compare directement les divers types d'étanchéité vis-à-vis des principaux facteurs (voir § 4.2.1.2.) qui influencent ce choix.

4.2.1.2. *Principaux facteurs influençant le choix de l'étanchéité*

Les facteurs suivants entrent notamment en ligne de compte :

- la situation du pont (zones de freinage du trafic, par ex.) ;
- la géométrie et la pente du tablier ;
- l'époque de mise en œuvre de l'étanchéité (environnement climatique) ;
- le délai entre la pose de l'étanchéité et celle de sa protection ;
- l'absence ou non de trafic de chantier ;
- le type de trafic prévu sur l'ouvrage.

Le choix d'une étanchéité peut également être influencé par les conséquences qu'il entraîne, soit pour sa propre exécution, soit pour les autres parties de la structure tels le support ou la protection, voire le revêtement tout entier. Parmi ces **conséquences au niveau de la structure pont-revêtement**, citons :

- le degré de qualité exigé pour le support ;
- la qualification du personnel de pose de l'étanchéité ;
- le choix du type de protection ;
- l'épaisseur résultante du revêtement (charges permanentes).

En fixant le choix du type d'étanchéité, il n'est pas superflu de se pencher sur **certaines caractéristiques intrinsèques de l'étanchéité** qui peuvent avoir une influence sur son comportement ultérieur :

a) *L'épaisseur de l'étanchéité*

Une augmentation de l'épaisseur totale de l'étanchéité diminue le risque de perforation et d'insuffisance du recouvrement du support, et accroît la rigidité propre de l'étanchéité.

Par contre, en augmentant l'épaisseur d'une étanchéité à base de bitume, les risques de déformation permanente et de fluage du revêtement sont accrus. Cette augmentation de l'épaisseur totale s'obtient notamment en augmentant le nombre de couches.

TABLEAU 4.1.
Comparaison des produits d'étanchéité

CRITERES	ASPHALTES COULES	FEUILLES PREFABRIQUEES	RESINES
<p>A. Caractéristiques du produit d'étanchéité</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nombre de couches - Epaisseur - Homogénéité - Technologie de pose <ul style="list-style-type: none"> - sur support plan - joints de pose - raccords aux points singuliers - susceptibilité aux intempéries et à l'environnement 	<p>1 ou 2</p> <p>10 mm (monocouche) 15 mm (bicouche)</p> <p>Nécessite un contrôle permanent de la centrale et du malaxage notamment en cas d'adjonction de polymères</p> <p>Très simple : épandage</p> <p>Aucun</p> <p>A exécuter avec soin, nécessite généralement l'utilisation d'autres matériaux</p> <p>Faible</p>	<p>1 ou 2 suivant le type de feuille</p> <p>2 à 5 mm par couche</p> <p>Garantie pour les feuilles soumises à un agrément</p> <p>L'adhérence de l'étanchéité au support est une opération à réaliser avec soin</p> <p>Nombreux</p> <p>A exécuter avec soin</p> <p>Faible sauf pour les feuilles collées à l'aide d'une colle de contact</p>	<p>1 ou 2 (à l'exclusion des couches d'accrochage) 1 à 3 mm</p> <p>Mélange à faire in situ délicat si manuel (personnel qualifié)</p> <p>Nécessite du personnel expérimenté notamment en cas de pose en bicouche (appréciation correcte du moment de l'intervention)</p> <p>Aucun</p> <p>Simple</p> <p>Très élevé (température + humidité) nécessite souvent la protection de l'étanchéité fraîchement posée</p>
<p>B. Compatibilité de l'étanchéité avec...</p> <p>a) Support</p> <ul style="list-style-type: none"> - pente - état du support - liaison support-étanchéité <p>b) Couche de protection</p> <ul style="list-style-type: none"> - choix de la protection - liaison étanchéité-protection 	<p>Certaines formulations ne conviennent pas pour les ponts en forte pente. Les parties fortement inclinées du support ne peuvent généralement pas être étanchées à l'aide d'asphalte coulé (emploi localisé de feuilles préfabriquées ou de résine)</p> <p>S'accommode dans certaines limites d'un support plus grossier que celui nécessaire pour les feuilles préfabriquées ou la résine</p> <p>Non adhérence</p> <p>Asphalte coulé obligatoire en cas d'étanchéité monocouche</p> <p>Adhérence sans dispositions spéciales</p>	<p>Les feuilles collées à l'aide de bitume ne conviennent pas pour les ponts en forte pente</p> <p>Critères de planéité et de texture plus stricts que pour l'asphalte coulé. Nécessite un arrondi à tout changement brusque de direction du support</p> <p>Adhérence</p> <p>Sauf protection spéciale de la feuille, l'asphalte coulé n'est pas toléré</p> <p>Si l'adhérence est souhaitée : aucune disposition spéciale pour les feuilles à base de bitume, pour les autres une couche d'accro-</p>	<p>Convient également pour les parties verticales lorsque la résine a été rendue thixotrope</p> <p>Nécessite généralement un traitement superficiel</p> <ul style="list-style-type: none"> - sablage (résistance de la peau du béton) - ragréage (texture) <p>Adhérence</p> <p>Généralement l'asphalte coulé n'est pas toléré</p> <p>Non adhérence, sauf dispositions spéciales telles :</p> <ul style="list-style-type: none"> - épandage de sable sur la couche supérieure de l'étanchéité

<p>Performances <i>Avant la pose de la protection</i> Exposition sans protection aux intempéries Circulation de chantier - perforation par passage de véhicules - manœuvre des véhicules</p>	<p>Pas de dégradation Risque faible de perforation vu l'épaisseur Risque d'arrachement de l'étanchéité par suite de son collage aux pneus Pas de dégradation</p>	<p>Risque de cloquage, principalement pour les feuilles non soudées Sauf feuilles à performances spéciales, risque de perforation, notamment pour les feuilles à base de bitume posées en monocouche Risque élevé de déchirure ou de décollement pour la plupart des feuilles non soudées</p>	<p>Pas de risque de cloquage, mais éventuellement vieillissement Risque faible de perforation Risque faible de dégradation</p>
<p><i>Lors de la pose de la protection</i></p>	<p>Risque fonction de la nature de la feuille et de son mode de pose : - cloquage - cheminement de l'étanchéité sur le support - destruction partielle de l'étanchéité par le choc thermique - glissement de la protection sur l'étanchéité - fissuration et remontée du liant dans la protection au droit des joints de l'étanchéité</p>	<p>Risque nul Risque de glissement à l'interface revêtement-étanchéité</p>	<p>La protection peut glisser sur l'étanchéité</p>
<p><i>En service</i> Déformation permanente Déplacement du revêtement Pontage des fissures du support Fissuration de flexion par fatigue Fissuration d'origine thermique Vieillessement</p>	<p>Risque moyen pour les feuilles collées au bitume Les autres : risque nul ou faible Risque de fluage élevé pour les feuilles collées au bitume Risque de glissement à l'interface revêtement-étanchéité pour les feuilles ne contenant pas de bitume Risque faible pour les feuilles soudées Risque fonction du type de feuille et du mode de liaison au support Risque fonction du type de feuille et du type de liaison au support Risque fonction principalement du type de liant Risque élevé pour certaines feuilles à base de liants synthétiques</p>	<p>Risque nul Risque de glissement à l'interface revêtement-étanchéité Risque élevé de dégradation Risques dépendant de la formulation</p>	<p>Risque nul Risque de glissement à l'interface revêtement-étanchéité Risque élevé de dégradation Risques dépendant de la formulation</p>
<p><i>Possibilités de réparation locale</i> - mise à nu de l'étanchéité existante - comportement du joint de la réparation</p>	<p>Très difficile : si la protection est en asphalte coulé : nécessite un fraisage Risque élevé de fissuration</p>	<p>Facile pour les feuilles auxquelles la protection n'adhère pas Très difficile pour les autres Pas de risque particulier</p>	<p>Facile Dépend de l'adhérence entre la nouvelle et l'ancienne résine</p>

TABLEAU 4.2.
Choix du type d'étanchéité

Facteurs influençant le choix	Type d'étanchéité				
	Asphalte coulé	Feuille préfabriquée			Résine
Bitume non modifié		Bitume-polymère	Synthétique		
1. Support - Convient en cas de forte pentes - Convient en cas de tablier à géométrie compliquée (nombreuses parties vert. par ex.) - Degré de qualité exigé pour le support	Non Peu indiqué +++++	Non Oui si non collée au bitume ++++ soudée +++ collée	Oui Oui ++++	Oui si non collée au bitume Oui si non collée au bitume ++	Oui Oui si thixotrope +
2. Etanchéité - Epaisseur (cf. § 4.2.1.2.) - Adhérence au support (cf. § 4.2.1.2.) - Degré de susceptibilité à l'environnement - Degré de qualification du personnel de pose	10 ou 15 mm Non +++ ++++	2 à 5 mm par couche Oui +++ ++++	2 à 5 mm par couche Oui +++ ++++	2 à 5 mm par couche Oui +++ (collée au bitume) ++ (collé de contact) +++	1 à 3 mm Oui + ++
3. Protection - Limitation de la durée entre la pose de l'étanchéité et de la protection } en hiver } en été - Limitation du choix de la protection	+++ ++++ Asphalte coulé indispensable en cas d'étanchéité mono-couche	+++ ++++ (soudée) ++ (collée)	++++ +++ Sauf protection spéciale de la feuille, incompatible avec l'asphalte coulé	++++ (sauf si sensible aux UV) ++ (collée au bit.) + (collé de contact)	++++ (sauf si sensible aux UV) ++++ (sauf si sensible aux UV) Asphalte coulé peu indiqué
4. Trafic - Degré de susceptibilité au trafic de chantier (étanchéité non protégée) } - stationnement } - manœuvres } - perforation - Convient en cas de fortes actions tangentielles - Convient en cas de trafic important (charges, intensité)	+ +++ +++ Non Oui	+ ++ + Non Non	++ +++ ++ Oui Oui	+++ + +++ Non Non	+++ ++++ +++ Non Oui

Note : La graduation varie de rubrique à rubrique en partant de (+++++) faible à... (+) très élevé

b) *Adhérence de et à l'étanchéité*

Nous rappelons à ce sujet ce qui a été dit au § 2.3.4. :

Une étanchéité non adhérente (ou partiellement adhérente) au support permet, en cas de déficience locale, la percolation de l'eau sous l'étanchéité à la recherche d'une fissure du support.

Une absence d'adhérence (ou une adhérence partielle) soit entre l'étanchéité et le support, soit entre l'étanchéité et sa protection peut être préjudiciable à la bonne tenue du revêtement dans le cas de fortes actions tangentielles dues au trafic (zones de freinage, ponts en courbe ou en forte pente).

Le type de liaison (adhérence ou non adhérence) conditionne la répartition des contraintes et des déformations au sein des couches du revêtement et donc sa longévité (cf. 2.3.4.2.).

4.2.1.3. *Domaines préférentiels d'utilisation des divers types d'étanchéité*

Nous voulons terminer ces considérations au sujet du choix de l'étanchéité par un tour d'horizon des diverses familles d'étanchéité en précisant notamment leur domaine préférentiel d'utilisation, mais aussi leurs limites, voire leurs contre-indications, ainsi que certains éléments relatifs à leur formulation et à leur mise en œuvre.

4.2.1.3.1. Les asphaltes coulés

Les asphaltes coulés **conviennent particulièrement pour les supports à faible pente résultante** (inférieure à 6%)*, sans actions tangentielles excessives.

Quoiqu'il soit possible de juguler, grâce à une formulation adéquate, le problème de leur fluage sous l'effet du cisaillement, nous invitons les maîtres d'œuvre à ne les utiliser qu'avec prudence sur des support plus inclinés ou lorsque le revêtement est soumis à d'importants efforts tangentiels dus au trafic. Leur comportement dans de telles conditions est, en effet, insuffisamment connu à ce jour.

* Cette valeur de 6 % indique uniquement un ordre de grandeur. Du fait qu'il n'existe actuellement aucun critère scientifique pour la préciser, elle repose essentiellement sur l'expérience basée sur les prescriptions en vigueur.

Les asphaltes coulés de type «pont» (par ex. chap. M du CCT 150) (réf. 4) ne conviennent généralement pas pour étancher les parties fortement inclinées ou verticales du support. A ces endroits – et d'une manière générale à tous les endroits où l'asphalte coulé doit être interrompu – il doit être doublé, voire remplacé par d'autres produits tels que certaines feuilles préfabriquées. Ces feuilles doivent être compatibles avec l'asphalte coulé (température à la mise en œuvre).

4.2.1.3.2. Les feuilles préfabriquées

a) *Les feuilles à base de bitume non modifié collées ou soudées au support*

L'expérience montre que les étanchéités de ce type, principalement lorsqu'elles sont réalisées en complexes multicouches, présentent une faible stabilité (risque de glissement...) et risquent de contaminer les couches supérieures du revêtement. Il convient donc de **réserver ce type d'étanchéité à des ponts de faible pente soumis à un trafic faible.**

b) *Les feuilles à base de bitume-polymère, renforcées à l'aide d'armatures à haute résistance et soudées au support*

Ces feuilles correctement soudées au support présentent une bonne stabilité à la déformation, notamment par cisaillement ; elles sont donc **particulièrement indiquées pour les ponts à forte pente** (supérieure à 6%*).

Leur usage nécessite des précautions particulières tant au niveau des caractéristiques du support (planéité cf § 3.2.2.) que de leur mise en œuvre (homogénéité de l'adhérence). A défaut, le risque de cloquage sera élevé. Posées en monocouche, le risque de perforation de telles feuilles par la chape de protection reste important.

Pour pallier ce dernier risque, on peut envisager de les poser en bicouche. Ce procédé devrait au préalable être expérimenté.

c) *Les feuilles synthétiques*

Ces feuilles possèdent d'excellentes performances vis-à-vis de certains critères, principalement un allongement à la rupture élevé et/ou une résistance élevée à la perforation.

Leur mode de pose (collage et éventuellement surfacage au bitume ou collage à l'aide d'une colle de contact) augmente les risques suivants : cloquage, glissement et éventuellement contamination du revêtement. **Leur usage sera donc limité aux ponts à faible pente et à faible trafic dans les cas courants.**

* Voir note du § 4.2.1.3.1.

Par contre, **leur emploi peut s'avérer intéressant pour des utilisations exceptionnelles** et/ou locales nécessitant impérativement des propriétés spéciales (allongement et/ou résistance à la perforation) de l'étanchéité. A titre d'exemple, citons l'étanchéisation de discontinuités locales de la dalle de platelage (par ex. aux abords de la dalle souple cf. § 4.3.2.5.4).

4.2.1.3.3. Les résines

Comme déjà signalé plus haut, leur formulation et leur technologie de pose ne sont pas encore actuellement adaptées à l'étanchement des tabliers de pont. Leur très faible épaisseur les rend en général peu compatibles avec les textures habituelles des dalles de ponts (risque d'insuffisance de recouvrement). Leur usage sera donc **réservé à des utilisations exceptionnelles** requérant du reste des précautions et contrôles particuliers. Citons par exemple, l'étanchéisation de certaines parties visibles du support qu'il est difficile d'étanchéiser d'une autre manière (voir chap. 8: remarque préliminaire).

4.2.2. Choix de la composition ou du produit

Signalons tout d'abord que chaque fois que le choix est possible, on préférera des produits satisfaisant à un **agrément technique** ou des compositions répondant à des **prescriptions officielles**. A défaut, on exigera au moins des références qui ne furent pas des échecs.

Pour le reste, il convient de choisir les produits et compositions qui présentent les meilleures performances vis-à-vis des critères de qualité (voir § 4 et tableau 4.1.) les plus importants pour l'ouvrage particulier en question. Les performances de ces produits ou formulations s'établissent soit sur base d'essais de laboratoire, soit sur base de calculs prévisionnels ou encore sur base de résultats relatifs à des tronçons expérimentaux.

Parmi les **essais de laboratoire** destinés à simuler les sollicitations des étanchéités et à caractériser les performances des diverses membranes pour les critères envisagés, citons notamment l'allongement à la rupture, le poinçonnement, la viscosité, la compatibilité avec les matériaux adjacents, le pontage des fissures du support et les divers types de vieillissement. Des détails concernant ces divers essais peuvent être trouvés à la réf. **28** (réf. **29** pour la viscosité).

En ce qui concerne les **calculs prévisionnels**, signalons les modèles de calcul mis au points au CRR qui au départ de la connaissance de leurs compositions et de la structure du revêtement permettent de comparer la performance des asphaltes coulés pour les critères de déformation permanente, de fissuration par fatigue (réf. **10**) et de glissement (réf. **29**). Ce dernier formalisme est également applicable aux feuilles préfabriquées dans la mesure où leur viscosité est connue.

Un **tronçon expérimental** (voir réf. **13**) a d'autre part mis en évidence les performances, dans des conditions réelles d'utilisation, de la plupart des produits d'étanchéité utilisés en Belgique, lors de leur pose, de leur exposition sans protection, de la pose de la chape de protection et enfin de leur réparation.

Ajoutons enfin quelques considérations particulières concernant les asphaltes coulés, les feuilles à base de bitume-polymère soudées au support et les résines.

- Lorsqu'un **asphalte coulé** doit être mis en œuvre sur un support dont la pente résultante est comprise entre 6 et 12 % ou qu'une résistance élevée à la déformation est requise, il est utile d'opter pour un mélange à base de bitume-polymère.

Parmi les polymères susceptibles d'être utilisés, le SBS semble le plus adéquat. En effet, l'APP, étant un résidu de fabrication, il ne présente actuellement pas des caractéristiques suffisamment constantes et les améliorations espérées de stabilité sont donc aléatoires. En outre, l'adjonction de SBS diminue le risque de fissuration du mélange aux basses températures ; on ne peut en dire autant des mélanges à base d'APP.

- Pour les **feuilles préfabriquées** à base de bitumes-polymères, il convient, en vue de réduire le risque de perforation, de prendre des feuilles de forte épaisseur (5 mm) et possédant des armatures suffisamment résistantes à la perforation (une armature de minimum 250 g/m² dans le cas d'un polyester).
- En ce qui concerne les **résines**, il est souvent préférable d'opter pour un système comprenant au moins 2 couches, la 2e permettant ainsi de recouvrir les éventuelles déficiences inhérentes aux étanchéités coulées en place, telles l'occlusion de bulles ou l'insuffisance de recouvrement du support.

Lorsque la résine d'étanchéité sert également de couche de surface (pas d'autre couche de revêtement prévue) – par exemple dans la zone des accessoires de chaussée – il est essentiel que la dernière couche (2e ou même 3e couche) possède une excellente résistance au vieillissement (notamment aux rayons ultra-violets).

4.3. MISE EN ŒUVRE DE L'ÉTANCHEITE

Avant d'aborder les aspects particuliers relatifs à chaque type d'étanchéité, il convient d'aborder les règles communes à respecter quel que soit le type d'étanchéité.

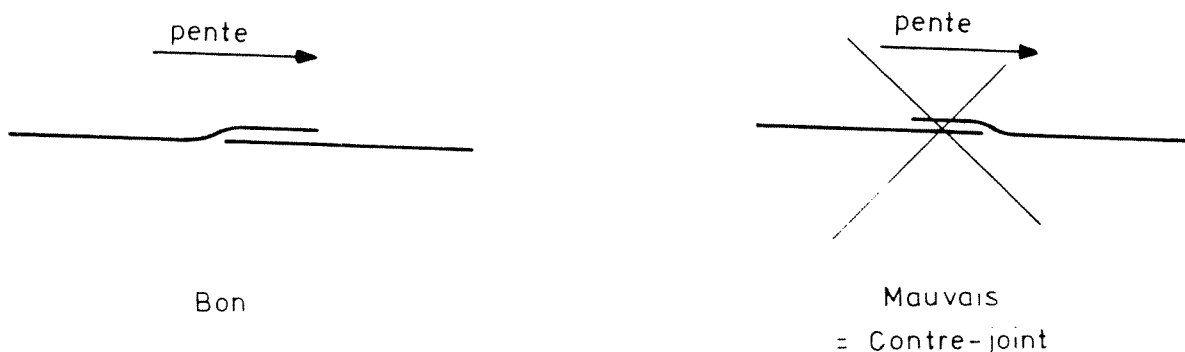
4.3.1. Règles communes à respecter pour la pose de tout type d'étanchéité

Nous envisagerons successivement la conception et l'organisation de l'exécution, ainsi que l'état du support.

4.3.1.1. Conception de l'exécution de l'étanchéité

Il convient d'appliquer les principes suivants :

- La continuité de l'étanchéité doit être assurée en tout point du support ;
- Les recouvrements de l'étanchéité doivent toujours être réalisés de l'amont vers l'aval (**figure 4.1.**) ;
- L'extrémité des relevés d'étanchéité dépasse d'au moins 100 mm le niveau du revêtement adjacent (**figure 4.2.a.**, voir page 66) ;
- Respecter les normes établies en matière d'exécution de l'étanchéité et notamment la NBN B 46-401.
- Pour rappel (§ 4.2.1.), choisir un système global d'étanchéité comprenant des matériaux compatibles entre eux et avec le support.
- L'étanchéité devra être posée dans des conditions climatiques permettant d'obtenir le résultat escompté. Toute pose par temps de pluie sera notamment proscrite.



SOC 15.931/1

Fig. 4.1.
Détail d'un recouvrement dans la couche d'étanchéité

4.3.1.2. Organisation de la réalisation de l'étanchéité

Il convient d'observer les principes suivants :

- Tous les détails d'exécution et notamment les divers raccords auront été examinés et approuvés par le maître d'œuvre avant le début de la pose de l'étanchéité ;
- Tous les travaux préliminaires seront terminés avant le début de la pose de l'étanchéité ;
- Éviter au maximum des travaux d'autres corps de métier sur les surfaces à traiter ou traitées, avant la fin des travaux d'étanchéité et la mise en œuvre de sa protection ;

- Lorsque les travaux seront terminés, les contrôles nécessaires (§ 4.4.) seront effectués et consignés.
- Tout percement ultérieur de l'étanchéité sera proscrit. Si ceux-ci s'avèrent indispensables, on fera procéder par l'étancheur à une réparation en bonne et due forme.

4.3.1.3. *Etat du support*

Avant d'entamer toute opération de pose du complexe d'étanchéité, il convient de vérifier si le support satisfait aux exigences minimales suivantes:

- Le support doit être **propre**. Outre les éventuels nettoyages spéciaux traités au § 3.4.6., il convient de le débarrasser entre autres de toute trace de boue, poussières ou autres matières étrangères ;
- Le support ne peut être ni mouillé, ni givré, ni verglacé ; il doit au contraire être suffisamment **sec**. Ceci implique d'une part qu'il n'est pas recommandé de poser l'étanchéité durant les 3 semaines qui suivent le bétonnage.

Le support doit d'autre part être rendu sec après la pluie. Pour ce faire, l'eau stagnante peut être enlevée à la raclette et le support asséché à l'aide d'un chalumeau, d'air chaud ou en épandant de la sciure de bois. Dans ce dernier cas, il conviendra cependant de débarrasser le support de toute trace de cette sciure.

Un contrôle au toucher et à l'aspect permettra de vérifier si le support est redevenu sec. On vérifiera notamment que le béton ne change pas de couleur au passage du chalumeau ou de l'air chaud.

Les conditions ci-dessus sont des conditions minimales à respecter par toute étanchéité, elles seront complétées dans les paragraphes qui suivent par des conditions propres à chaque type d'étanchéité.

4.3.2. **Les asphaltes coulés**

Nous envisagerons successivement la fabrication, les travaux préliminaires, les conditions climatiques et la pose sur support plan ainsi qu'aux abords des points singuliers.

4.3.2.1. *Fabrication et transport*

Les asphaltes coulés sont actuellement fabriqués en centrale du type «Plant pour enrobés bitumineux». Ils sont transportés dans des malaxeurs mobiles où se poursuit le malaxage indispensable à l'obtention de mélanges homogènes.

L'homogénéité de l'asphalte coulé est essentielle à sa qualité. L'hétérogénéité du mélange peut se traduire par le conglomérat de gros éléments imparfaitement enrobés de mastic.

Ces hétérogénéités locales sont en outre des points privilégiés pour l'occlusion de bulles et risquent donc de mettre l'étanchéité en péril.

Cette homogénéité dépend de la formulation, de la qualité et du taux d'humidité des matériaux, du bon fonctionnement de la centrale d'enrobage ainsi que de la durée et de la température du malaxage.

On veillera tout particulièrement à assurer l'homogénéisation du liant lorsque celui-ci est constitué d'un mélange de bitume et de polymères ajoutés séparément en centrale.

Le contrôle de la **température** du mélange est très important.

Une température trop basse peut empêcher une homogénéisation correcte du mélange. Une température trop élevée risque d'altérer les propriétés du liant (vieillesse artificiel du bitume, destruction de certains adjuvants du type polymère).

Dans cette optique, on regrettera que la thermostatisation de la plupart des malaxeurs actuels n'est pas effective quel que soit le niveau du mélange dans la cuve de malaxage. Il peut en résulter des fluctuations de températures hors des fourchettes généralement admises.

Le **tableau 4.3.** donne les fourchettes normales de température du malaxage et du transport pour divers mélanges courants ainsi que la pointe maximale au delà de laquelle il y a destruction du mélange. Signalons que dès que la température sort des fourchettes normales, il y a lieu d'agir au niveau du système de chauffage de la cuve de malaxage.

La durée du malaxage est tout aussi importante. Son effet sur la qualité du mélange est similaire à celui de la température de malaxage.

La durée de malaxage au plant est comprise entre 30 et 60 secondes la durée minimale de séjour dans le malaxeur est de 1 h, les durées maximales sont reprises au tableau 4.3. Notons toutefois que les durées maximales de séjour dans le malaxeur exigent des précautions (diminution de température notamment).

4.3.2.2. *Travaux préliminaires à la pose de l'asphalte coulé*

Dans les cas normaux, **l'asphalte coulé d'étanchéité est placé en non adhérence au support** sur la majeure partie de sa surface.

a) Zones de non adhérence

La non adhérence est obtenue par **interposition d'un voile de verre entre l'étanchéité et le support**. Cette non adhérence est indispensable pour éviter les phénomènes de bullage et de cloquage engendrés inévitablement par l'évaporation de l'humidité contenue dans le support suite aux températures de pose de l'étanchéité.

TABLEAU 4.3.
Caractéristiques de fabrication et de pose des asphaltes coulés

TYPE D'ASPHALTE COULE		Centrale d'enrobage	Dans malaxeur mobile			Température de pose		
		Température d'enrobage ° C	Durée de séjour max. (h)	Températures		Pointe minimale ° C	Fourchette normale ° C	Pointe maximale ° C
				Fourchette normale ° C	Pointe max. ° C			
Etanchéité	10 mm type allemand (réf. 30)	190-220	48	180-230	260	190	210-230	260
	15 mm type CCT 150 (réf. 4)	190-220	48	180-230	260	200	220-240	260
	15 mm + polymères : APP SBS	190-200 190-200	24 24	180-210 180-210	230 230	180 180	200-220 200-220	230 230
Protection	30 mm type allem. (réf. 30) ou CCT 150 (réf. 4)	190-230	48	180-230	260	190	210-240	260
	30 mm + polymères : APP SBS	190-200	24	180-210	230	180	200-220	230
		190-200	24	180-210	230	180	200-220	230
Autres	Asphalte pour trottoir et filet d'eau	190-230	48	180-230	260	190	210-240	260
	Asphalte porphyré (pour joints de dilatation)	190-230	48	180-230	260	190	210-240	260

Cette absence d'adhérence ne doit pas faire craindre le glissement sous poids propre de l'étanchéité sur le support, la texture de celui-ci est en général suffisamment grossière pour développer, même en présence de vibrations et en cas de forte pente, un coefficient de frottement empêchant tout glissement à ce niveau. Par contre, ce risque peut se présenter en cas de fortes actions tangentielles dues au trafic (freinage...). Dans cette optique, on limitera au strict nécessaire (recouvrement d'environ 50 mm entre bandes voisines) les zones de recouvrement de voile de verre où le coefficient de frottement est nettement plus faible.

Tout pli du voile de verre est à proscrire.

b) Zones d'adhérence

L'adhérence doit être réalisée entre le support et l'étanchéité autour des discontinuités du support et des points singuliers – là où l'asphalte coulé est interrompu – sur une largeur de l'ordre de 200 mm. Il en va de même sur les parties verticales de ces points singuliers en contact avec l'asphalte coulé. Ces mesures sont, en

effet, indispensables pour éviter la percolation de l'eau sous l'étanchéité au départ de ces points délicats que sont les connexions de l'étanchéité aux points singuliers.

L'adhérence de l'étanchéité au support est obtenue par un **vernis d'adhérence** (généralement un mélange de bitume et de solvants). En vue de ne pas perturber cette adhérence, le voile de verre est interrompu au droit des bandes de vernis.

Le vernis est appliqué — sur support sec (§ 4.3.1.3.) — à la brosse ou au pistolet. Il est épandu à raison de 150 à 300 g/m². On évitera les accumulations de vernis au fond des creux, ce qui rendrait difficile l'évaporation des solvants. Dans cette optique, l'épandage du vernis à la raclette est à proscrire.

Il est indispensable que tous les composants volatils du vernis soient éliminés avant la mise en œuvre de l'asphalte coulé. A défaut, un bullage important sera observé dans cette couche. Une durée suffisante, fonction des conditions atmosphériques (plus il fait froid, plus elle sera importante) et du type de vernis, est donc requise entre la pose du vernis et celle de l'asphalte coulé. On peut s'assurer de l'élimination des solvants en vérifiant que le vernis est sec au toucher (pas d'adhésion).

Faisons remarquer enfin que tant que la majeure partie des solvants n'aura pas été éliminée, le vernis risque d'être délavé par la pluie. Les zones délavées devront alors être retraitées.

Le vernis du type bitumineux présente toujours le risque de provoquer le bullage de l'asphalte coulé. Des essais sont en cours en vue de lui substituer un vernis du type résineux qui ne présenterait pas ce risque.

c) Le quadrillage du vernis

Il est de pratique courante (réf. 4) d'apposer sur le support des bandes de vernis d'adhérence formant un quadrillage centré sur des busettes de décompression.

La réalisation d'un quadrillage présente l'avantage suivant : il délimite les zones de non adhérence, empêchant en cas de rupture localisée de l'étanchéité, la percolation, d'une zone à l'autre, de l'eau sous l'étanchéité, et facilite ainsi la détection des défaillances de celle-ci. Dans ce cas, il faut que l'adhérence soit correctement réalisée (interruption du voile de verre au droit des bandes de vernis) et que des busettes soient prévues dans l'espace défini par chaque maille du quadrillage.

Signalons cependant qu'une adhérence au droit de ce quadrillage, même correctement réalisée (c'est-à-dire en y interrompant le voile de verre), n'apporte rien, vu sa faible superficie, au comportement du revêtement sous l'effet des actions tangentielles.

Nous préconisons dès lors, comme alternative, la suppression de ce quadrillage, ce qui augmente la surface de décompression (favorable pour éviter le cloquage) et permet de supprimer la majorité des busettes de décompression (à l'exclusion de celles situées aux points bas – voir § 8.9), ce qui facilite à la fois le bétonnage et la pose de l'asphalte coulé. Il est cependant judicieux de prévoir alors quelques points de vernis de façon à éviter que le voile de verre ne soit soulevé par le vent.

d) Zones de semi-adhérence (adhérence partielle)

Lorsque l'asphalte doit être coulé sur un support dont la pente résultante est comprise entre 6 et 12 %, les risques de glissement, notamment sous l'effet des actions tangentielles, peuvent être importants. Pour diminuer ce risque, on peut opter pour l'adhérence partielle. Pour ce faire, la totalité du support doit être enduite de vernis d'adhérence. On pose alors un voile de verre perforé. Compte tenu du danger de bullage, il est préférable d'utiliser un vernis du type résineux (pour autant que cette solution donne des résultats positifs : voir ci-dessus). Nous manquons toutefois de recul pour apprécier l'efficacité de la technique de la semi-adhérence.

4.3.2.3. *Conditions climatiques et état du support à la pose*

La siccité du support est un élément essentiel de la qualité de l'asphalte coulé. A défaut, on verra se produire les phénomènes de bullage et de cloquage cités ci-dessus (§ 4.3.2.2.a.).

On respectera donc impérativement ce qui a été dit à ce sujet au § 4.3.1.3. On veillera en outre à remplacer le voile de verre humide (sauf les bandes d'environ 100 mm débordant de l'extrémité des bandes d'asphalte coulé : voir § 4.3.2.4.).

La température du support ou de la couche inférieure s'inscrira dans des limites permettant une pose correcte de l'asphalte coulé :

- si cette température est trop basse, elle rendra impossible la pose de l'asphalte coulé qui ne pourra être étalé en épaisseur requise ;
- si cette température est trop élevée (couche inférieure insuffisamment refroidie) le passage des ouvriers et de leur brouette y laissera des traces.

4.3.2.4. *Pose de l'asphalte coulé sur support plan*

L'épandage des bandes d'asphalte coulé se fait, en section courante, à l'aide d'une raclette. Mais on disposera sur chantier d'outils adaptés aux largeurs disponibles pour étaler correctement le mélange en toutes circonstances : également dans les recoins difficilement accessibles tels qu'entre avaloirs et bordures, par exemple. La pose de

l'asphalte coulé est entamée par le point haut de manière à éviter toute infiltration d'eau sous l'étanchéité.

Des gabarits, dont la hauteur correspond à l'épaisseur à mettre en œuvre, déposés à même le support (ou de la couche inférieure) Permettent de contrôler l'épaisseur d'épandage de l'asphalte coulé. Lors de la pose de la 2e couche éventuelle, on veillera à retirer rapidement ces gabarits de manière à ce qu'ils ne s'enfoncent pas dans la couche inférieure.

En ce qui concerne les fourchettes de **température*** de l'asphalte coulé lors de la pose, nous renvoyons au tableau 4.3. Le contrôle de ces températures est essentiel au respect des épaisseurs exigées.

Trop froid, l'asphalte coulé est difficile à étaler et l'épaisseur de la couche risque d'être trop élevée ; trop chaud, il s'écoule suivant les pentes, mêmes faibles, si bien qu'il peut en résulter des épaisseurs trop faibles à l'amont des bandes de pose et trop fortes à l'aval de celles-ci.

Lorsque la pose a dû être interrompue, le raccord entre l'asphalte coulé existant et le nouvel asphalte coulé, fait l'objet d'un soin particulier. La tranche et la surface de l'asphalte coulé sont nettoyés et débarrassés de tout corps étranger. Si le voile de verre placé en attente au droit du joint a été rendu humide, il doit être recouvert par un autre voile de verre sec. La couche d'asphalte coulé préalablement posée est alors recouverte sur 100 mm par 3 ou 4 mm du nouveau mélange. **Les joints** de l'éventuelle deuxième couche sont décalés de 500 mm par rapport à la couche inférieure.

4.3.2.5. *Les raccords aux points singuliers*

Il est indispensable de compléter l'étanchéité en asphalte coulé dans les zones de discontinuité de son support. D'une part, il est essentiel de réaliser un raccord correct à l'élément où l'étanchéité doit être interrompue (avaloir, joint de dilatation, ...) : il est en effet vital d'y empêcher tout risque de contournement de l'étanchéité. D'autre part, dès que les pentes du support dépassent les limites admissibles pour l'asphalte coulé, celui-ci doit être remplacé par d'autres produits d'étanchéité (principalement des feuilles préfabriquées, parfois des résines). Les produits utilisés pour compléter l'étanchéité doivent évidemment être compatibles avec l'asphalte coulé (notamment résistance au choc thermique).

* Températures à mesurer au milieu d'un seau de 10 l juste avant son épandage.

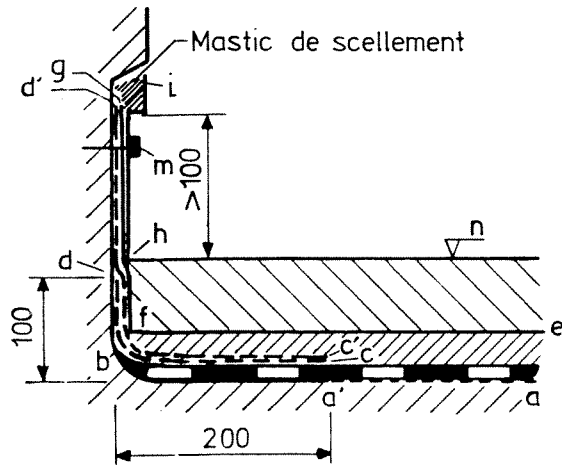


Fig. 4.2.a.

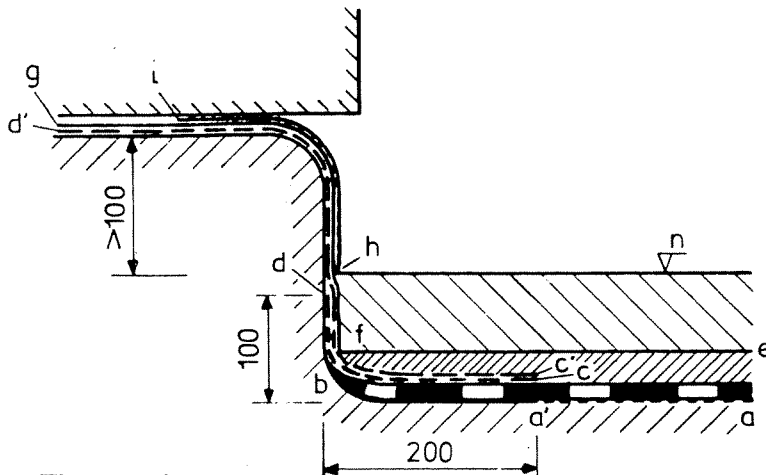


Fig. 4.2.b.

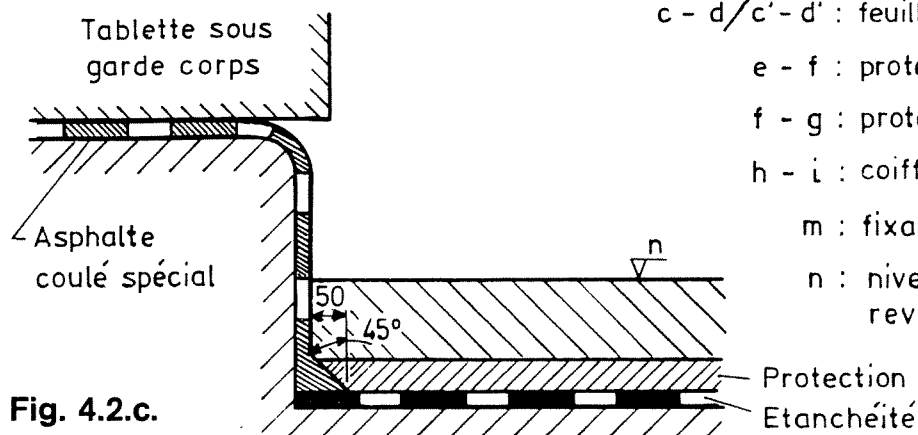


Fig. 4.2.c.

Légende

- a - b : asphalte coulé
- a - a' : non adhérent
- a' - b : adhérent
- c - d / c' - d' : feuilles préfabr. soudées
- e - f : protection normale
- f - g : protection spéciale
- h - i : coiffe ou profilé
- m : fixation mécanique
- n : niveau supérieur du revêtement

Fig. 4.2.

Exemples de raccordement d'une étanchéité en asphalte coulé à un relevé

SOC 15.187/3

Nous envisagerons successivement le raccord à un bord vertical en béton, à une bride horizontale métallique, les percements de l'asphalte coulé, le pontage d'un joint du support, les extrémités de l'étanchéité dans le sens axial du pont ainsi que l'étanchement des points faibles de la dalle de platelage.

4.3.2.5.1. Raccord à un bord vertical en béton

L'asphalte coulé utilisé normalement pour étancher les ponts ne se prête pas à la mise en œuvre sur des supports verticaux. La **figure 4.2.** présente des exemples de raccords aux relevés verticaux. Dans le schéma a) l'étanchéité est interrompue, dans le schéma b), elle est continuée au delà du relevé.

Lorsque l'étanchéité est interrompue, l'extrémité du complexe étanchéité-protection est fixée mécaniquement à l'aide d'un profilé se prolongeant à sa base inférieure jusqu'à la face supérieure du revêtement et terminé à sa partie supérieure, en forme de cuvette où sera placée une masse de scellement.

Le schéma c) présente une variante du schéma b) où la continuité de l'étanchéité est réalisée à l'aide d'un asphalte coulé spécial pour parois fortement inclinées. Cet asphalte coulé est posé en adhérence sur le support et est mis en œuvre en 2 couches (épaisseur totale : 15 mm). Cet asphalte coulé est fusionné avec l'asphalte coulé normal d'étanchéité. A sa base, on réalise, à l'aide de cet asphalte coulé spécial, un chanfrein en vue d'assurer la stabilité du relevé. Ce système ne peut être utilisé que lorsque l'angle support-relevé est droit (ni chanfrein, ni arrondi). Ce procédé est d'ordinaire assez coûteux.

4.3.2.5.2. Raccord à la bride métallique d'un point singulier

Ce point singulier peut être par exemple un avaloir, une gargouille, un joint de dilatation... Il n'est pas conseillé de poser directement l'asphalte coulé sur la bride métallique (adhérence insuffisante). La continuité de l'étanchéité s'obtient d'ordinaire à l'aide d'une bavette en plomb sandwichée d'une part entre deux couches d'étanchéité et serrée mécaniquement d'autre part à l'élément métallique à l'aide d'une bride ou d'un plat de serrage. Les boulons de serrage ne peuvent pas être espacés de plus de 100 mm. Si l'asphalte coulé est du type monocouche, le sandwichage peut se faire entre l'étanchéité et la chape de protection en asphalte coulé. La feuille en plomb aura été enduite préalablement d'un vernis d'adhérence aux endroits où elle entre en contact avec l'asphalte coulé ; on prendra soin de réchauffer la couche inférieure et de marteler le plomb de manière à assurer un bon contact entre celui-ci et l'asphalte coulé de la couche inférieure. La **figure 4.3.** montre un exemple d'un tel raccordement.

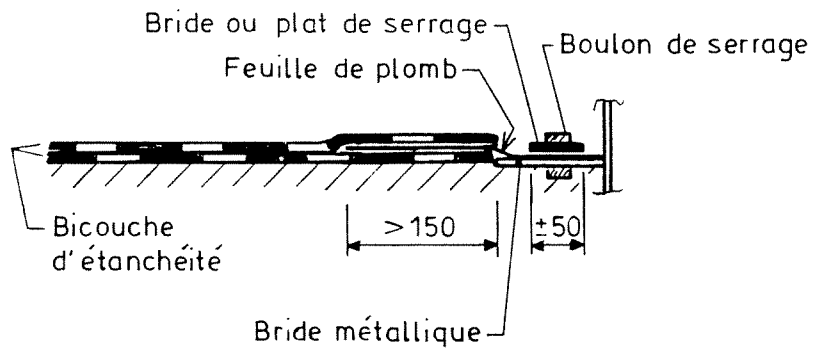


Fig. 4.3.
Raccordement de l'asphalte coulé à la bride métallique d'un point singulier

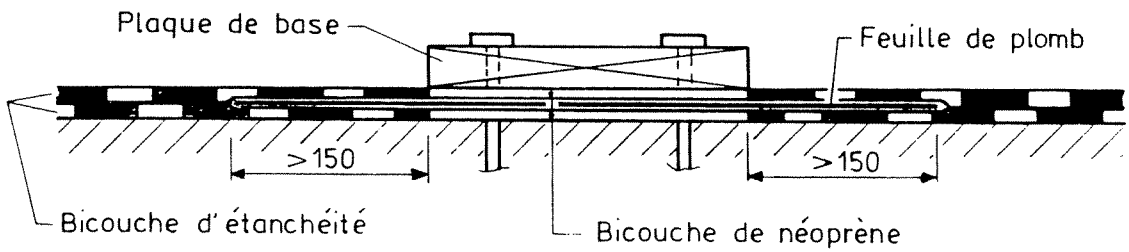


Fig. 4.4.
Percement de l'asphalte coulé par des ancrages

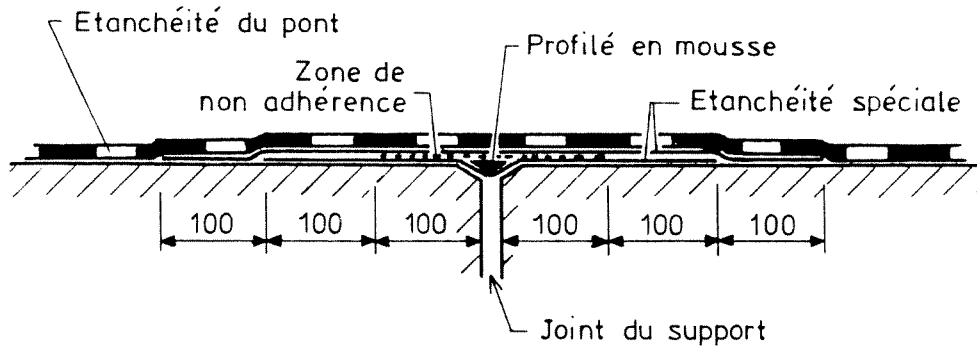


Fig. 4.5.
Pontage d'un joint du support

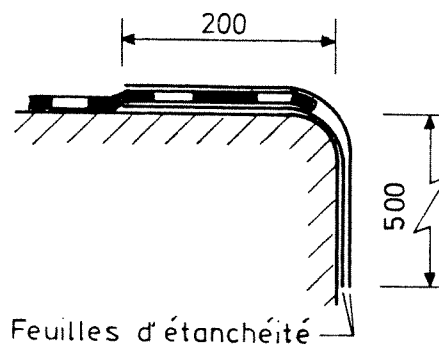


Fig. 4.6.
Extrémité de l'étanchéité dans le sens axial du pont

4.3.2.5.3. Percement de l'asphalte coulé par des ancrages

Ces percements sont toujours des pis aller ; toutefois lorsqu'il est impossible de les éviter, nous conseillons de procéder comme suit :

- a) **Dans le cas où l'élément à fixer possède une plaque de base de dimensions réduites** (par ex. plaque de base pour glissières de sécurité ou poteau d'éclairage) et que les ancrages sont en attente **figure 4.4.**), il est préférable de remplacer l'asphalte coulé, sous la plaque de base de l'élément à fixer, par une feuille de plomb sandwichée d'une part dans l'étanchéité, d'autre part, entre deux feuilles de néoprène tel que représenté à la figure 4.4. Il n'est, en effet, pas souhaitable de soumettre l'asphalte coulé à des efforts de serrage constants, car du fait du fluage des étanchéités à base de bitume, les tensions de serrage diminueront et l'eau risque de s'infiltrer d'abord entre la plaque et l'étanchéité, ensuite sous celle-ci. Les précautions à prendre pour la mise en œuvre de la feuille de plomb sont identiques à celles indiquées en 4.3.2.5.2. Les trous de percement du néoprène auront un diamètre légèrement inférieur à celui des ancrages de manière à parfaire l'étanchéité.

Après la pose de l'élément à ancrer, il est conseillé de remplir l'espace vide entre l'ancrage et les faces latérales du trou de l'élément à l'aide d'un mastic élastique et étanche. On enduira de même, après serrage des boulons, la jonction entre ceux-ci et la plaque de base.

Dans le cas particulier de socles d'ancrage, d'autres modes de réalisation de l'étanchéité seront présentés au § 8.3. (figure 8.12.) ;

- b) **Dans le cas où l'élément à fixer possède une plaque de base de grandes dimensions, ou n'en possède pas** (par ex. socle indépendant mais ancré dans le support, pierres bleues, corniches,...) le remplacement de l'étanchéité normale par une feuille de plomb ne peut être envisagé. On veillera dès lors à effectuer avec un soin particulier, le raccord de l'étanchéité aux ancrages en attente. Après pose de la couche de protection (indispensable) et de l'élément à ancrer, on complètera l'étanchéité de l'ensemble comme indiqué à l'avant dernier alinéa du a) ci-dessus.
- c) **Si l'étanchéité doit être percée après coup** (par ex. mise en place de repères topographiques), — ce qui n'est jamais recommandé — on n'hésitera pas à rappeler l'étancheur pour qu'il puisse faire les réparations qui s'imposent. D'ordinaire, il s'agira de réchauffer l'endroit du percement en vue de ressouder l'étanchéité à l'élément de percement.

4.3.2.5.4. Pontage d'un joint du support

Lorsque le support présente localement un joint de faible ouverture, susceptible de mouvements de faible amplitude (par exemple parties

latérales des dalles souples), il est possible de le ponter par l'étanchéité. La **figure 4.5.** présente un exemple d'une telle réalisation. Conformément à celle-ci, on renforcera l'étanchéité par un dispositif comprenant une double feuille d'étanchéité à allongement élevé à la rupture ($> 400\%$) placée en adhérence sauf dans la partie centrale de la feuille supérieure. Un profilé en mousse remplit exactement l'espace entre la feuille supérieure et la boucle de la feuille inférieure. Si cette feuille spéciale ne résiste pas à la température de pose de l'asphalte coulé, on interposera encore une feuille bitumineuse qui y résiste et qui remplira la fonction de protection de l'étanchéité spéciale.

4.3.2.5.5. Extrémité de l'étanchéité dans le sens axial du pont

Si la culée est raccordée à la dalle flottante par une dalle souple, on prolonge l'étanchéité au delà de cette dalle souple sur environ 500 mm.

S'il n'y a pas de dalle souple, on sandwiche l'extrémité de l'asphalte coulé entre deux feuilles (résistant à la pose de cet asphalte coulé) et on les prolonge d'environ 500 mm sur la face verticale de la culée conformément à la **figure 4.6.**, la 2e feuille y sert de protection à la première.

4.3.2.5.6. Etanchement des points faibles de la dalle de platelage

Quoique les situations décrites ci-après soient à éviter, voire à proscrire (cf. § 3.1.1.), il peut arriver que la dalle de platelage présente des points faibles (joints de reprise par ex.) qui peuvent en outre coïncider avec des points vulnérables de la structure (remontées ou abouts de câbles de précontrainte).

Dans ce cas, il paraît prudent de renforcer l'étanchéité à cet endroit en utilisant un dispositif similaire à celui décrit en § 4.3.2.5.4. et à la figure 4.5., à l'exception de la boucle vers le bas de la feuille inférieure et du profilé en mousse.

4.3.3. Les feuilles préfabriquées

Rappelons que toutes les feuilles préfabriquées sont placées en adhérence sur toute la surface du support. En non adhérence, la faible rigidité de ces feuilles ne leur permettrait pas de résister à la pose mécanique d'une couche de protection en matériaux bitumineux compactés.

4.3.3.1. Travaux préliminaires à la pose des feuilles

A l'exception des feuilles rendues adhérentes à l'aide d'une colle de contact, toutes les feuilles nécessitent la pose préliminaire d'un vernis bitumineux d'accrochage.

Les précautions à prendre sont identiques à celles qui ont été développées pour le vernis d'adhérence utilisé pour les asphaltes coulés. Nous renvoyons donc au § 4.3.2.2. b).

4.3.3.2. *Conditions climatiques de pose de feuilles*

Outre le respect des règles communes à toutes les étanchéités (cf. § 4.3.1.3.), il convient de vérifier si la température des rouleaux permet leur utilisation sans danger de fissuration. Ces températures minimales variant d'un produit à l'autre, il convient de se référer aux prescriptions émises par le fabricant.

On indiquera aux §§ 4.3.3.3. et 4.3.3.4. l'incidence des facteurs climatiques, dans le cas d'utilisation de procédés de collage spéciaux (colle avec solvant, vulcanisation,...).

4.3.3.3. *La pose des feuilles sur support plan*

- Avant d'entamer la pose, il convient de vérifier :
 - l'agrément technique éventuel,
 - l'épaisseur des feuilles,
 - l'absence de défauts apparents.
- Trois techniques sont utilisées pour réaliser l'adhérence de l'étanchéité au support : la soudure au chalumeau, le collage au bitume et le collage à la colle de contact. Ces techniques sont fonction du type de produit :

a) Soudage au chalumeau

La majorité des feuilles dont le constituant principal est le bitume sont posées par **soudure au chalumeau**. **Le point délicat de cette technique est le contrôle de la température exercée par la flamme du chalumeau sur la membrane.**

La température doit être suffisante pour produire la fusion du bitume de la feuille, mais doit évidemment être limitée afin de ne pas enflammer celle-ci.

Cette température dépend à la fois de l'intensité, de la distance et de la durée d'application de la flamme du chalumeau. La qualité de l'exécution dépendra donc essentiellement de la qualification et de la conscience professionnelle du poseur qui devra en outre s'appliquer à réaliser une parfaite homogénéité de la fusion sur toute l'étendue de la feuille, homogénéité indispensable au bon comportement ultérieur de la feuille.

On ne peut que souhaiter que se développent à l'avenir des procédés mécaniques rendant plus fiables ces opérations délicates.

b) Collage au bitume

Les feuilles dont le constituant principal n'est pas le bitume ne peuvent être soudées au chalumeau. Le collage est alors, pour la plupart d'entre elles assuré par l'interposition d'une couche de bitume soufflé, étendu préalablement et réchauffé, ou encore coulé devant la feuille. Ce procédé est également utilisé pour certaines feuilles à base de bitume ne supportant pas la température du chalumeau, ainsi que pour les feuilles ne possédant pas assez de bitume pour être soudées.

Le **choix entre le collage à plein bain de bitume et l'épandage préalable du bitume** est généralement fonction de la manière dont les joints seront soudés. Lorsque le raccord des joints entre lés se fait à l'aide du bitume de collage, celui-ci sera répandu devant la feuille lors de son déroulement. Par contre lorsque le raccord se fait à l'aide d'autres techniques, on évitera de souiller les bords des lés, ce qui nécessite l'épandage préalable du bitume de collage et son réchauffage au moment du déroulement de la feuille.

Dans cette technique, il est nécessaire de **contrôler** :

- **la température du bitume** dans le fondoir : un fondoir thermostatisé est indispensable si l'on veut éviter que le bitume ne s'enflamme ;
- **le régularité d'épandage** (ou de réchauffage) du bitume. Elle est indispensable à la réalisation d'une adhérence homogène de la feuille ;
- **la quantité de bitume** de collage répandu. Trop faible, une bonne adhérence ne peut être obtenue, trop importante, on augmente les risques de glissement du revêtement sur cet interface. Nous préconisons un taux d'épandage compris entre 1 et 1,75 kg/m².

c) Collage à l'aide d'une colle de contact

D'autres feuilles, notamment le butyl, peuvent être collées au support à l'aide d'une colle de contact.

Cette colle contenant des solvants, il convient de laisser le temps nécessaire à leur évaporation. Cette durée dépend des conditions atmosphériques. On peut estimer que la feuille peut être posée lorsque la colle adhère aux doigts sans filer.

L'efficacité du collage nécessite l'absence de poussières et d'humidité du support. Il **exige** donc **des conditions d'environnement sévères** que l'on ne rencontre pas sur tous les chantiers.

Signalons que les membranes du type butyl peuvent également être collées à l'aide d'une colle à base d'un mélange bitume-butyl.

d) Nécessité d'une adhérence homogène au support

Quelle que soit la technique utilisée pour réaliser l'adhérence de la feuille au support (soudure au chalumeau, collage au bitume, ou colle de contact), **il faut éviter absolument l'occlusion de poches d'air entre l'étanchéité et le support** (ou la couche de collage). C'est à ces endroits que se développent les phénomènes de cloquage, tant avant la pose de la couche de protection que lors de celle-ci. Pour les feuilles collées à la colle de contact, une raclette permettant de chasser l'air sous la feuille est utilisée à cet effet. Pour tenter d'appliquer la feuille de la manière la plus homogène possible sur son support (et éviter ainsi l'occlusion d'air), le poseur exerce à l'aide des pieds une pression la plus uniforme possible sur la feuille immédiatement après son déroulement lorsque le bitume (de la feuille ou de collage) est encore mou – dans le cas des feuilles soudées ou collées au bitume –. Pour les feuilles collées à l'aide d'une colle de contact, une telle pression est indispensable au procédé de collage lui-même.

Ici également on pourrait songer à **mécaniser** quelque peu le procédé. Il faudrait alors s'orienter vers des rouleaux souples ou à pneus, les inégalités du support excluent, en effet, l'application de masses rigides.

e) Implantation des lés

Il est essentiel **d'éviter les contre joints** : les lés sont généralement posés perpendiculairement au sens de la pente en commençant par les points bas de manière à assurer un recouvrement correct des lés (amont sur aval) (cf. figure 4.1. page 59).

Un recouvrement de 100 (± 20) mm est recommandé pour toutes les feuilles, sauf pour celles où la soudure est réalisée à l'aide d'un solvant ou à l'air chaud ; dans ce cas le recouvrement est de 50 (± 10) mm.

Les lés seront, en outre, placés de manière à ce que **jamais plus de deux joints** ne se chevauchent. Si plusieurs couches de feuilles sont utilisées, les **joints** seront également **décalés**.

4.3.3.4. Les joints entre lés

L'exécution du joint est fonction du type de feuille et de la technique de pose de celle-ci.

Pour les **feuilles soudées à la flamme**, le joint ne requiert aucune technique particulière : le liant – rendu fluide par l'action du chalumeau – de la feuille supérieure fusionne avec le liant ramolli de la feuille inférieure lors du déroulement de la feuille. La finition est, le cas échéant, complétée par l'action d'une truelle qui comprime le bord du

lé supérieur et y réalise un chanfrein diminuant ainsi les discontinuités brusques d'épaisseurs génératrices de fissures dans le revêtement.

En vue de tenter de diminuer ces variations d'épaisseurs, on peut chauffer plus intensément le bord du lé de manière à obtenir au droit du recouvrement une diminution importante de l'épaisseur de la feuille, le bitume débordant très largement sur le lé voisin. Cette technique n'est applicable que si l'on est certain de ne pas dégrader la feuille à cet endroit (destruction des constituants ou inflammation de la feuille).

Pour les **feuilles qui sont collées au bitume** par épandage de ce produit lors de leur déroulement, c'est ce même bitume qui assure l'étanchéité des lés: aucune autre technique n'est utilisée. La largeur d'épandage du bitume de collage doit cependant être contrôlée afin d'éviter les débordements très irréguliers de bitume bien au-delà du joint. Ces débordements qui d'une part créent des zones excédentaires en liant et d'autre part, peuvent occasionner des zones d'adhérence différentes au revêtement, sont néfastes pour la tenue de celui-ci (risques de fissuration de la protection et de remontées de liant).

Pour **les autres produits synthétiques**, la soudure des lés se réalise en fonction du type de produit, soit à l'aide de solvants (PVC), de bandes vulcanisantes (butyl) ou encore à l'air chaud (PVC ou copolymère d'éthylène). La réussite de la réalisation de ces joints dépend essentiellement de la compétence et du soin apporté à leur exécution.

Quelques points sont particulièrement à surveiller :

- pour le soudage à l'aide de solvants : propreté des faces à souder, quantité de solvant, pression de contact ;
- pour le soudage à l'air chaud : durée de l'application de l'air chaud (risques de brûlures), pression de contact ;
- pour la vulcanisation : propreté et siccité des feuilles, temps de séchage de la colle, pression de contact.

Ici également, il serait souhaitable de mécaniser certaines de ces interventions en vue de l'obtention d'une meilleure homogénéité.

Les aspects concernant l'implantation des joints sont repris au § 4.3.3. point e).

4.3.3.5. *Les raccords aux points singuliers*

Comme pour l'asphalte coulé, le raccord des feuilles préfabriquées d'étanchéité aux points singuliers nécessitent des dispositions particulières. Sauf au cas où le raccord se fait à l'aide d'une bride de serrage, on utilise généralement le même type de produit (de dimensions adaptées à la discontinuité) que l'étanchéité principale. Toutefois des

exceptions existent, notamment dans le cas de feuilles fort rigides ; dans ce cas, il faut veiller à une compatibilité entre la feuille principale et le produit de complément mieux adapté aux discontinuités.

4.3.3.5.1. Raccord à un bord vertical en béton

La **figure 4.7.** présente deux exemples de raccordement de feuilles préfabriquées soudées à un relevé. La **figure 4.8.** fait de même pour les feuilles collées. On s'inspirera des commentaires du § 4.3.2.5.1. Signalons toutefois que le collage au bitume sur parois verticales est très délicat et que les décollements sont fréquents. Les risques de déboires sont encore accrus si en outre le recouvrement des lés est obtenu par simple collage au bitume.

4.3.3.5.2. Raccord à la bride métallique d'un point singulier

Le principe du raccordement est le même que celui décrit pour l'asphalte coulé. En ce qui concerne ce principe, on se référera donc au § 4.3.2.5.2. et à la figure 4.3.. On obtient dans ce cas le bicouche d'étanchéité en plaçant une première feuille sur le support de manière telle que son contour dépasse d'environ 100 mm la feuille de plomb qui doit être placé par dessus. L'étanchéité principale recouvre alors le tout. On évitera tout recouvrement de lés au droit de la bride ou du plat de serrage.

4.3.3.5.3. Percement de l'étanchéité par des ancrages

Le principe est à nouveau identique à celui de l'asphalte coulé. On se référera donc au § 4.3.2.5.3. et à la figure 4.4. Le bicouche d'étanchéité est obtenu, le cas échéant, comme ci-dessus au § 4.3.3.5.2.

4.3.3.5.4. Pontage d'un joint du support

Le principe du pontage est également identique à celui décrit pour l'asphalte coulé. On se référera donc au § 4.3.2.5.4. et à la figure 4.5.

4.3.3.5.5. Extrémité de l'étanchéité dans le sens axial du pont

Si la culée est raccordée à la dalle flottante par une dalle souple, on prolonge l'étanchéité au delà de cette dalle souple sur environ 500 mm. S'il n'y a pas de dalle souple, on rabat l'étanchéité sur les premiers 500 mm de la face verticale et on place sur la zone d'extrémité une deuxième feuille en guise de protection (s'inspirer de la figure 4.6.).

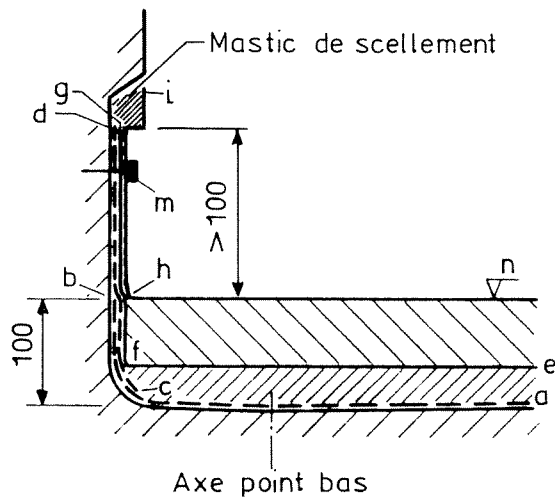


Fig. 4.7.a.

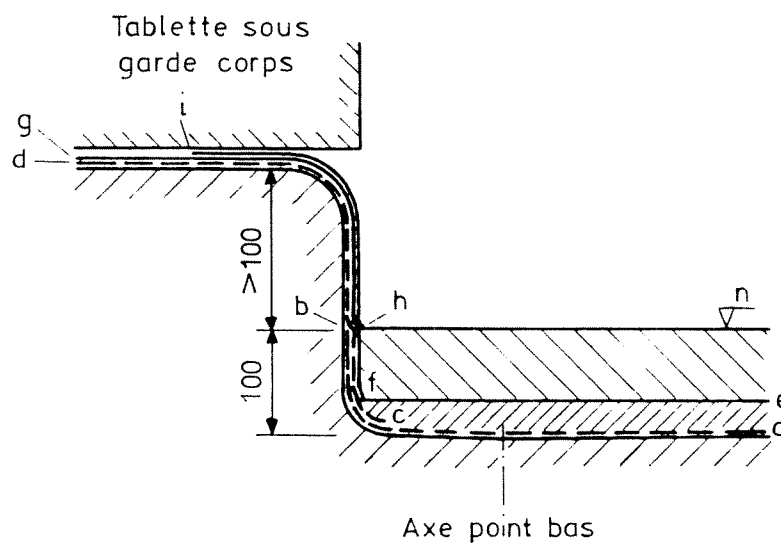


Fig. 4.7.b.

Légende

- a - b : feuille soudée
- c - d : feuille soudée
- e - f : protection normale
- f - g : protection spéciale
- h - i : coiffe ou profilé
- m : fixation mécanique
- n : niveau supérieur du revêtement

Note

Les schémas ont été dessinés pour les systèmes monocouches

Fig. 4.7.

Exemple de raccordement de feuilles soudées à un relevé

SOC 15.189/3

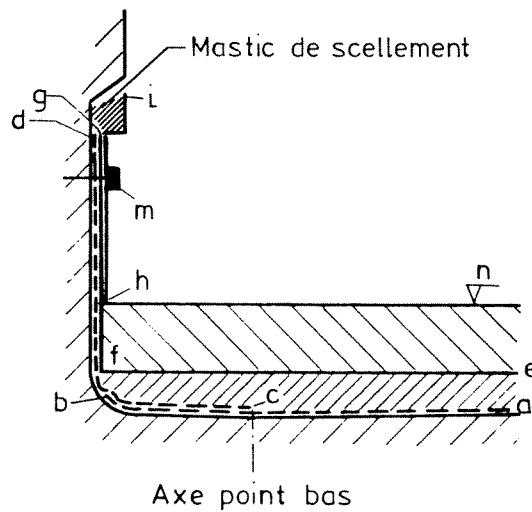


Fig. 4.8.a.

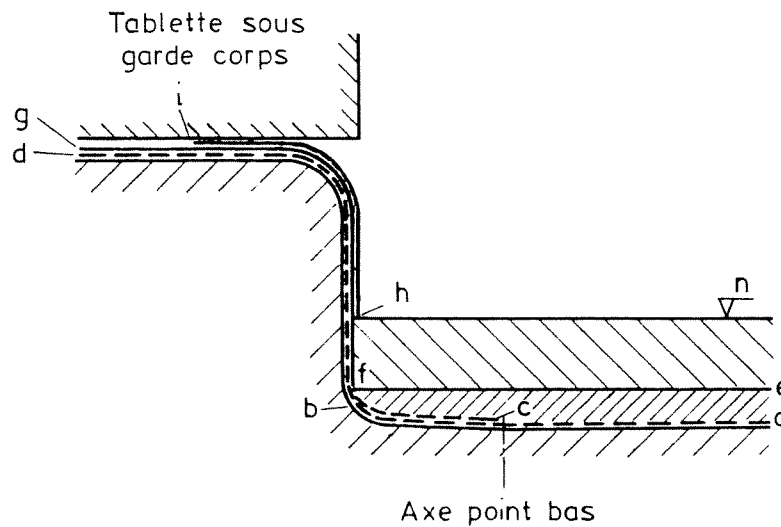


Fig. 4.8.b.

Légende

- a - b : feuille collée
- c - d : feuille collée
- e - f : protection normale
- f - g : protection spéciale
- h - i : coiffe ou profilé
- m : fixation mécanique
- n : niveau supérieur du revêtement

Note

Les schémas ont été dessinés pour les systèmes monocouches

Fig. 4.8.
Exemple de raccordement de feuilles collées à un relevé

4.3.3.5.6. Etanchement des points faibles de la dalle de platelage

Les recommandations sont similaires à celles indiquées au § 4.3.2.5.6.

4.3.4. Les résines

4.3.4.1. Fabrication

La qualité du produit fini dépend de la qualité des constituants, du dosage et de l'homogénéisation du mélange.

Il est tout d'abord recommandé de s'assurer que les constituants n'ont subi ni vieillissement ni refroidissement ayant abouti à leur cristallisation éventuelle. Si c'est le cas, les produits doivent retourner chez le fabricant en vue de leur traitement. Il est en effet préférable de ne pas effectuer celui-ci sur chantier.

Suivant la formulation, le mode de pose (voir ci-dessous) et la grandeur des surfaces à traiter, **le mélange des deux composants** (résine + durcisseur) **peut se faire en discontinu ou en continu.**

Lorsque les quantités à mettre en œuvre sont faibles ou que le produit à mettre en œuvre a une viscosité élevée ou qu'il se met en œuvre manuellement (à la raclette, à la brosse ou à la truelle), le mélange s'effectue d'ordinaire en discontinu. Dans ce cas, le mélange de deux composants, de couleurs obligatoirement différentes, doit se faire à l'aide d'un agitateur mécanique. Il est supposé homogène lorsque sa coloration est devenue uniforme. Le mélange doit parfois se faire à une température déterminée nécessitant le réchauffage des constituants. En vue de respecter le dosage correct des constituants (essentiel à l'obtention des propriétés mécaniques requises), on ne peut autoriser que l'emploi de kits prédosés complets.

Lorsque les quantités à mettre en œuvre sont importantes, que le produit a une faible viscosité et qu'il s'épand au pistolet ou à l'aide d'une rampe d'épandage, le mélange s'effectue immédiatement avant projection dans le pistolet ou la rampe d'épandage. On veillera dans ce cas à contrôler la régularité de débit des deux constituants.

4.3.4.2. Conditions climatiques à la pose

La mise en œuvre d'un complexe d'étanchéité à base de résine ne peut se faire que dans des **conditions hygrothermiques** (température et degré d'humidité du support) précises, propres à chaque produit.

Il est, en outre, recommandé de disposer, sur chantier, d'un **toit de protection** destiné à protéger l'étanchéité, durant sa phase de polymérisation, de certaines actions climatiques néfastes. En effet, tant que le mélange résineux n'est pas durci, les gouttes de pluie peuvent y créer des trous ou le délayer, le vent peut y amener des poussières ou des feuilles qui s'inscrustent dans la résine. On peut se dispenser de cette protection lorsque le temps maximum de durcissement de la résine est de l'ordre de 5 minutes. Dans ce cas, les matériaux doivent être mis en œuvre à l'aide de pistolets de projection à deux cuves.

4.3.4.3. *Les travaux préliminaires à la pose de la couche d'étanchéité*

Ces préparatifs concernent la qualité du support et la pose d'une couche d'accrochage.

Pour rappel, **le support exige des qualités particulières** concernant sa texture et sa résistance superficielle (cf. § 3.2.3.3. et 3.2.4.3.).

Bien souvent ces exigences ne sont pas rencontrées lors du bétonnage ; le recours aux traitements spéciaux décrits aux § 3.4.3. et 3.4.4. est donc généralement systématique.

Un **primaire d'accrochage** est souvent nécessaire pour favoriser l'adhérence de l'étanchéité proprement dite. Ce primaire est généralement du type résineux, mais à l'inverse de l'étanchéité, il contient des solvants ce qui favorise sa pénétration dans le support. Il doit bien sûr être compatible avec l'étanchéité. Pour le reste, sa technologie de pose obéit à l'une des techniques de pose de l'étanchéité à base de résine (voir § 4.3.4.4.).

4.3.4.4. *La pose*

L'épandage du mélange peut se faire, suivant sa formulation, de diverses manières. Citons la rampe d'épandage, le pistolet, la brosse, la raclette, la truelle.

Comme pour l'asphalte coulé, il y a toujours un risque latent de bulage. Il y a donc intérêt à **épandre la résine en deux couches**. Toutefois cette opération présente des risques car d'une part, la première couche ne peut être entièrement polymérisée (sinon l'adhérence entre les couches est compromise), mais d'autre part, la première couche doit être suffisamment résistante pour supporter le passage des personnes ou des engins nécessaires à la mise en œuvre de la 2e couche. Le moment optimum pour l'application est à apprécier par du personnel particulièrement compétent.

Une troisième couche de résine est parfois posée, suivant la même technologie que ci-dessus comme couche d'accrochage mécanique des couches du revêtement. Pour ce faire, on répand à la surface de cette troisième couche, lorsque celle-ci n'est pas entièrement polymérisée, environ 1,5 kg/m² de sable 1/2 ou 0,5 à 0,8 kg/m² de gravillons de concassés 2/4 (cf. réf. 24).

En l'absence d'une telle couche, le revêtement risque de glisser sur l'étanchéité. La deuxième couche de résine est parfois utilisée pour remplir ce rôle, mais son efficacité du point de vue étanchéité en est ainsi diminuée. En effet, la pénétration du sable ou des gravillons diminue l'épaisseur résiduelle de la couche d'étanchéité.

Lorsque l'étanchéité n'est pas destinée à être recouverte par une autre couche (cas des parties visibles et non protégées du support) et **sert donc de revêtement**, l'épandage de sable ou de gravillons lui confère une certaine rugosité, si celle-ci est recherchée à cet endroit. En vue d'éviter tout arrachement ultérieur du gravillonnage, on peut recouvrir le tout d'une quatrième et dernière mince couche de résine.

4.3.4.5. *Les points singuliers*

Les étanchéités à base de résine se prêtent particulièrement à l'étanchéisation des points singuliers du support, notamment les parties fortement inclinées ou verticales dans le mesure où la résine a été rendue thixotrope. Il en va de même des jonctions entre le support et les accessoires métalliques de celui-ci (tels avaloirs, joints de dilatation et regards) dont l'étanchéité peut être assurée par simple recouvrement de résine.

En cas de raccordement à d'autres types d'étanchéité, il convient de placer d'abord la résine, les feuilles préfabriquées venant en recouvrement de celle-ci.

4.4. CONTROLE

4.4.1. Les asphaltes coulés

- On évitera de prélever des échantillons dans la chape d'étanchéité, une fois celle-ci mise en place. Le **contrôle de la formulation** se fait au départ d'éprouvettes façonnées à la sortie du malaxeur.
- **L'épaisseur** d'une couche en asphalte coulé se contrôle par calcul suivant la quantité de matériau utilisé.

On pourrait également la déterminer à l'aide d'appareils à ultrasons ; mais à ce jour, nous manquons d'expérience à ce propos.

Pour rappel, il est proscrit de déterminer l'épaisseur à l'aide de clous et déconseillé de le faire par prélèvements.

- Après la pose d'une couche, toute zone présentant des **défauts visibles à la surface** : bulles, ségrégation, granulats dont les dimensions sont incompatibles avec l'épaisseur de la couche, est traitée de manière à faire disparaître le défaut constaté. L'asphalte coulé est localement réchauffé de manière à provoquer à nouveau sa fusion. Un talochage superficiel favorisera son homogénéisation.

- On vérifie également la **tenue des joints de reprise** (cf. § 4.3.2.4.) et l'on contrôle l'absence de **décollement** de l'asphalte coulé par rapport aux bords contre lesquels il a été collé. Si un défaut est constaté (fissure ou décollement), on nettoie, on réchauffe et on taloche de manière à le faire disparaître. En supplément, on peut recouvrir l'endroit délicat à l'aide d'asphalte coulé frais.
- **Les dégradations dues aux manœuvres ou stationnement** des véhicules ou engins de chantier ainsi que les poinçonnements consécutifs à l'enfoncement des gabarits doivent également être réparés. Après nettoyage et réchauffement de la surface, on ajoute de l'asphalte coulé neuf et on taloche l'ensemble.

4.4.2. Les feuilles préfabriquées

- On contrôle le certificat et l'emballage de produits soumis à un agrément technique.
- Compte tenu de l'importance d'une adhérence homogène de la feuille au support, il n'est pas superflu de contrôler la qualité de celle-ci. Cela peut se faire à l'ouïe ; on peut généralement déceler certains défauts d'adhérence en marchant ou en frappant sur l'étanchéité, ces endroits sonnent souvent creux et se dérobent lorsqu'on appuie sur la feuille.

On peut également utiliser des engins plus sophistiqués tel que l'échographe (réf. **31**). L'expérience avec de tels engins est cependant réduite.

Lorsque des **défauts d'adhérence** ont été décelés, il convient de les réparer. S'ils ne sont pas réparés, il y a risque qu'ils engendrent des cloques lors de la pose de la couche de protection et il sera alors plus difficile de réaliser une réparation présentant des garanties suffisantes.

La seule manière de réparer une cloque est de découper la partie non adhérente de la feuille, de la ressouder (ou recoller) convenablement et de recouvrir la découpe par une feuille supplémentaire collée ou soudée en respectant les largeurs minimales de recouvrement.

- Vu l'importance de la réalisation correcte des joints, une surveillance accrue est indispensable. Les éventuelles parties décollées des **joints** sont recollés immédiatement.
- **Les aires dégradées** (poinçonnements, arrachages, perforations) – **consécutives** généralement **aux manœuvres et stationnement** des véhicules de chantier – sont traitées comme ci-dessus pour les cloques.

4.4.3. Les résines

- On contrôle le certificat et l'emballage des produits soumis à un agrément technique ou à une homologation.
- L'épaisseur de la couche se calcule d'après la quantité de matériaux utilisés.
- Le contrôle de la qualité de l'exécution portera essentiellement sur les points suivants :
 - **Recouvrement** suffisant **du support** ou de la couche inférieure,
 - Absence de **bulles d'air** (celles-ci peuvent parfois se manifester par des taches).
 - **Adhérence** suffisante au support ou à la couche inférieure.
 - **Coulées** (délavage par la pluie, support incliné).
 - **Arrachages ou déchirures** suite à la pose d'une couche supérieure ou aux manœuvres des véhicules de chantier.
- La réparation d'étanchéités du type résineux est très délicate. On procède généralement par recouvrement de l'étanchéité existante après avoir arraché les parties non adhérentes.

4.4.4. Contrôle de l'efficacité de l'étanchéité dans le temps

Il est possible de vérifier l'efficacité de l'étanchéité dans le temps en contrôlant la présence d'humidité sous la chape d'étanchéité. Ce contrôle s'effectue en mesurant la résistance électrique soit entre deux électrodes de cuivre noyées dans la peau du béton, soit entre ces électrodes et le lit d'armatures supérieures de la dalle de platelage (cf. § 3.1.2.7. et § 3.3.5.). Ce système de mesure développé aux U.S.A. (réf. 27) et mis au point en Belgique par le Deuxième Division du Bureau des Ponts est appliqué à titre expérimental depuis 1985 sur quelques ponts.

On trouvera plus d'explications à ce sujet à la réf. 32.

4.5. PROTECTION DE L'ETANCHEITE

Compte tenu de ses caractéristiques, **l'étanchéité doit être munie à bref délai, et sur toute sa surface, d'une protection.** Toutefois, certaines résines nécessitent un temps de maturation. Il convient à ce sujet de consulter le formulateur de ces résines. La couche de protection fait l'objet du chapitre 5.

Le trafic de chantier, directement appliqué sur l'étanchéité, n'est jamais souhaitable ; il n'est cependant jamais totalement évitable, ne fut-ce que lors de la pose de la couche de protection. Les principaux dégâts se font jour lorsque la température de l'étanchéité est trop élevée (ensoleillement) ou trop froide. **Outre les manœuvres, il faut alors éviter à tout prix le stationnement des engins de chantier sur l'étanchéité.**

5. LA COUCHE DE PROTECTION

5.1. ROLE ET CARACTERISTIQUES DE LA COUCHE DE PROTECTION

5.1.1. Nécessité d'une protection de l'étanchéité

Etant donné leurs caractéristiques intrinsèques, (composition, épaisseur...) et les propriétés qui en découlent (résistance limitée à la perforation, au cloquage, au poinçonnement, au cisaillement, au choc thermique...), la plupart* des matériaux utilisés comme couche d'étanchéité ne résistent que médiocrement aux actions thermiques et/ou mécaniques qui leur sont directement appliquées. Parmi celles-ci citons, à titre d'exemple, le stationnement et la circulation d'engins de chantier, la chute d'outils, l'enfoncement de corps étrangers, la pose de certaines couches supérieures du revêtement, voire l'ensoleillement prolongé.

Il est donc indispensable de procéder **le plus rapidement possible** à la pose d'une couche de protection de l'étanchéité (cf. § 2.4.). Celle-ci, spécialement conçue à cet effet, ramènera les sollicitations consécutives aux actions décrites ci-dessus à un niveau acceptable pour l'étanchéité.

5.1.2. Qualités principales de la couche de protection

Les principales qualités que doit posséder une couche de protection de l'étanchéité sont :

- Constituer une protection efficace de l'étanchéité compte tenu du niveau des actions thermiques et mécaniques (trafic de chantier, pose des couches supérieures du revêtement...) qui lui sera appliqué ;
- Ne pas endommager l'étanchéité lors de la pose de la couche elle-même (choc thermique...) ou ultérieurement (compatibilité chimique...) ;
- Ne pas être endommagée lors de sa pose, notamment suite à un problème de compatibilité avec l'étanchéité (cloquage, glissement...);
- Ne pas être endommagée par la pose des couches supérieures du revêtement avec lesquelles elle doit être compatible ;
- Posséder les caractéristiques intrinsèques requises en tant que couche constitutive du complexe étanchéité-revêtement et notamment, résister à la fissuration (entre autre thermique), à la déformation permanente, au glissement et aux eaux chargées de sels de déneigement.

* Font exception à cette règle les asphaltes coulés spéciaux (§ 4.3.2.5.1.) et certains complexes résineux qui jouent à la fois le rôle de couche d'étanchéité et de couche supérieure de revêtement.

- Se prêter à une mise en œuvre au droit des points singuliers du support (relevés...).

Outre ses qualités principales, il est parfois souhaitable que la protection :

- complète le rôle de l'étanchéité de la couche d'étanchéité proprement dite.
- permette un léger reprofilage ;
- facilite le démontage ultérieur des couches supérieures du revêtement (par ex. par une différence d'aspect ou, dans les zones «hors chaussée», par une faible adhérence aux couches supérieures).

5.2. TYPES DE PROTECTION

On distinguera les couches de protection définitives et les couches de protection provisoires.

Sous la chaussée, **la couche de protection définitive** est soit un asphalte coulé, soit un béton bitumineux (ces deux types de protection sont désignés dans le texte sous le vocable de «Protection classique»). Dans les zones non circulées, on emploie encore d'autres types de protection telles des feuilles (notamment) à haute résistance au poinçonnement (ce type de protection est appelé dans le texte «Protection spéciale»). Anciennement, on utilisait également le mortier de ciment, mais cette solution est à déconseiller.

Lorsque pour l'une ou l'autre raison (délais, litiges, saison trop avancée...), la mise en œuvre de la couche définitive de protection doit être différée, il est parfois nécessaire de poser une **couche de protection provisoire**. A titre d'exemple :

- l'ouvrage doit servir, sans attendre, au passage d'un important trafic de chantier ;
- on se trouve à l'entrée de l'hiver, et on craint la fissuration thermique de l'étanchéité ;
- on veut éviter le risque de cloquage d'une étanchéité pendant l'été.

La couche de protection provisoire sera conçue de manière d'une part, à remplir durant toute la durée prévue, le rôle de protection qui lui est assigné compte tenu du niveau de sollicitations prévu, d'autre part à pouvoir facilement être enlevée sans laisser de traces sur l'étanchéité.

Poser une couche de sable d'environ 200 mm est une des manières de réaliser cette protection provisoire.

Dans ce qui suit seules les couches de protection définitives seront envisagées.

5.2.1. **Asphalte coulé**

La description de ce matériau est identique à celle donnée au § 4.1.1. pour l'étanchéité, aux différences suivantes près :

- Pour des raisons de stabilité, il contient nettement moins de liant et nettement plus de pierres que l'asphalte coulé pour étanchéité ;
- Il est coulé en une seule couche, de 30 mm (\pm 5 mm) d'épaisseur étalée à la raclette, à la taloche ou à la finisseuse ;
- L'asphalte coulé de protection est placé en contact direct (sans voile de verre) sur la couche inférieure ;
- Le % de vides du mélange étalé est généralement inférieur à 3%. Pour des teneurs de cet ordre, les vides ne sont pas communicants et le mélange peut être considéré comme imperméable ; l'asphalte coulé de protection complète donc de ce point de vue le rôle de l'étanchéité.

Comme pour l'étanchéité, il existe diverses formulations qui se différencient notamment par la teneur et le type de liant (divers types de bitumes non modifiés ou de mélanges de bitumes et de divers polymères). A chaque formulation correspondent des propriétés spécifiques du mélange, telles une meilleure stabilité à la déformation permanente (poinçonnement, fluage) ou encore une résistance accrue à la fissuration par fatigue ou par fragilité à basse température.

5.2.2. **Béton bitumineux**

On trouvera une description complète de ce matériau à la réf. **33**. Nous donnons cependant ci-dessous quelques caractéristiques essentielles des mélanges utilisés comme couches de protection.

- Les bétons bitumineux sont constitués, comme les asphaltes coulés (§ 5.2.1.), de pierres, de sable, de filler et de liant (du bitume non modifié uniquement), mais à l'inverse des asphaltes coulés, le dosage en mastic (filler + bitume) est moindre, car le squelette minéral assure ici une bonne partie de la stabilité du produit.

Lorsque des caractéristiques exceptionnelles sont exigées pour la couche de protection, on peut songer à l'utilisation de bitume-polymère (voir à ce sujet le dernier alinéa du § 7.2.2.).

- Les températures de fabrication et de pose des bétons bitumineux sont nettement plus basses que celles de l'asphalte coulé (température du mélange, à la pose, comprise entre 120 et 160° C).
- Compte tenu de leur composition, les bétons bitumineux doivent être compactés (température de compactage comprise entre 140° (début du compactage) et 90° C (fin du compactage) en vue de leur conférer des caractéristiques mécaniques satisfaisantes.

- Après un compactage optimal il subsiste un % de vides (parfois communicants) pouvant être supérieur à 5 % (notamment type III C de la réf. 4) ; la couche ne peut donc généralement pas être considérée comme imperméable ;
- En vue de leur conférer des caractéristiques mécaniques optimales, les bétons bitumineux doivent être mis en œuvre mécaniquement* ;
- Les mélanges généralement utilisés comme chapes de protection sont les types III C et II (non clouté) décrit au CCT 150 (réf. 4) ;
- L'épaisseur nominale de la couche est de 30 mm. Dans certains cas, on peut cependant tolérer un léger reprofilage au sein de cette couche (épaisseur variant entre 20 et 40 mm).
- Sauf dans le cas de certaines étanchéités du type «résine» ou «feuille préfabriquée synthétique», il n'est pas nécessaire d'utiliser une couche d'accrochage pour obtenir une bonne adhérence à l'étanchéité.

5.2.3. Mortier de ciment

Ce type de couche n'est plus guère utilisé comme couche de protection et est du reste à déconseiller.

Il était d'ordinaire mis en œuvre manuellement en deux couches de mortier à 400 kg de ciment au m³, de 15 mm d'épaisseur chacune, séparées par un treillis métallique à fines mailles (environ 10 mm).

Il n'est cité ici que pour mémoire et on se reportera au tableau 5.1. (page 89) pour juger de ses inconvénients principaux.

5.2.4. Feuilles préfabriquées (protection spéciale)

Dans les zones situées en dehors de la chaussée, on peut utiliser dans certains cas des feuilles préfabriquées comme protection de l'étanchéité. Ceci est même une nécessité dans les zones où les deux autres types de protection ne peuvent pas être utilisés (relevés par ex.).

Il s'agit généralement des mêmes produits que ceux prévus pour l'étanchéité (§ 4.1.2.2. ou 4.1.2.3.) mais qui ne sont pas utilisés pour cette fonction. **C'est leur caractéristique de haute résistance au poinçonnement qui est ici exploitée.**

Ces feuilles sont posées librement (ou en adhérence) sur l'étanchéité proprement dite avec laquelle elles doivent être compatibles chimiquement. Dans la mesure où l'on compte sur cette couche pour assurer un complément d'étanchéité, on veillera à respecter toutes les règles de l'art de la pose d'une étanchéité, notamment le recouvrement des lés.

* Une pose manuelle peut être tolérée dans certains cas : voir § 5.3.1.2. et 5.4.2.

5.3. CHOIX DE LA PROTECTION

On effectue d'abord, parmi les variantes proposées au § 5.2. le choix du type de protection ; on procède ensuite, le cas échéant, au choix de la formulation ou du produit le plus adéquat.

5.3.1. Choix du type de protection

Ce choix doit être effectué en fonction des particularités de chaque ouvrage. Il tiendra compte essentiellement des **facteurs d'influence** suivants :

- compatibilité avec l'étanchéité ;
- niveau des sollicitations (notamment type de trafic, possibilité de trafic de chantier...);
- compatibilité avec la couche supérieure ;
- délai entre la pose de la protection et celle de la couche supérieure (risque de fissuration thermique, par ex.) ;
- présence de points singuliers nécessitant éventuellement un autre type de protection que celui de la partie courante de l'ouvrage ;

Signalons que d'autres facteurs secondaires peuvent influencer le choix de la protection. Notamment :

- la surface du pont (les petites surfaces conviennent parfois peu à des mises en œuvre mécanisées) ;
- l'épaisseur disponible ;
- la possibilité de reprofiler à l'aide de la protection ;
- le souhait de réaliser un complément de l'étanchéité lorsque celui-ci n'est pas indispensable (par ex. dans le cas d'une étanchéité bi-couche en asphalte coulé) ;
- les possibilités de drainage.

En vue de faciliter le choix, le **tableau 5.1.** présente une comparaison des divers types de protection vis-à-vis des facteurs d'influence cités ci-dessus.

Nous compléterons ce tableau par un tour d'horizon des divers types de protection en précisant quels sont leurs **domaines préférentiels d'utilisation** mais aussi leurs limites et leurs contre-indications en même temps que leurs avantages et inconvénients.

5.3.1.1. *Asphalte coulé*

L'asphalte coulé de protection **convient particulièrement aux étanchéités en asphalte coulé** sur lesquelles il est même indispensable

TABLEAU 5.1.
Comparaison des caractéristiques des matériaux
pour couches de protection

Matériaux Caractéristiques	Asphalte coulé	Béton bitumineux	Feuilles préfabriquées (protection spéciale)	Mortier de ciment (Pour mémoire)
Caractéristiques intrinsèques - épaisseur (mm) - température de pose - mode de mise en œuvre - compactage - adhérence à l'étanchéité	30 (1) 200-240° C (3) épannage manuel ou à la finisseuse non oui	30 (2) 120-160° C (4) généralement à la finisseuse indispensable oui	≤ 5 ambiante (sauf éventuelle- ment bitume de collage) manuel non oui ou non	30 (en 2 couches) ambiante manuel non non (5)
Propriétés - imperméabilité - risque de fissuration thermique - résistance à la déformation permanente - résistance aux agents climatologiques (gel, eau) et sel - trafic de chantier admis - possibilité de reprofilage dans la couche - possibilité de drainage sous la couche - facilité de démontage des couches supérieures du revêtement	oui moyen (6) moyenne (6) bonne oui non inutile moyenne (9)	non faible (6) élevée (6) bonne oui limitée impossible (7) moyenne (9)	oui nul très élevée bonne non non inutile faible (11)	non très élevé très élevée très mauvaise très limité non souhaitable (8) élevée (10)
Compatibilité - avec l'étanchéité en asphalte coulé - avec l'étanchéité en feuilles préfabriquées - avec l'étanchéité en résines - avec couches supérieures du revêtement - avec les points singuliers (relevés...)	oui non sauf si feuille auto- protégée non tous types non	non si asphalte coulé mono- couche (12) oui si asphalte coulé bicouche (12) à contrôler (13) oui tous types sauf asphalte coulé (15) non	non à contrôler (14) oui incompatible avec asphalte coulé et béton bitumineux (17) oui	oui oui oui incompatible avec asphalte coulé et béton bitumineux (16) oui

Notes relatives au tableau 5.1.

- (1) La composition et la technologie de mise en œuvre de l'asphalte coulé font qu'il est difficile de s'écarter de cette épaisseur nominale qui doit donc être considérée comme constante.
- (2) Voir à ce sujet le § 5.3.2.2.
- (3) Il est essentiel de s'assurer que l'étanchéité, notamment les feuilles préfabriquées utilisées au droit des points singuliers, résiste à de telles températures.
- (4) En vue de limiter les sollicitations thermiques et mécaniques au niveau de l'étanchéité, il y a toujours intérêt à poser et à compacter les bétons bitumineux à la température la plus basse permettant leur mise en œuvre correcte.
- (5) Une non-adhérence est indispensable en vue d'éviter que les fissures de la protection ne se communiquent à l'étanchéité.
- (6) Les risques de fissuration thermique et la résistance à la déformation permanente de ces matériaux sont liés à leur composition.
- (7) Il n'est pas possible de placer des matériaux de type «géotextile drainant» sous un béton bitumineux. Ces matériaux sont en effet trop compressibles et agissent comme un interface de non adhérence. Ils rendraient de ce fait impossible un compactage correct des couches supérieures.
- (8) Compte tenu des risques de fissuration du mortier de ciment, d'importantes pénétrations d'eau sont prévisibles à ce niveau.
- (9) L'épaisseur de ces types de protection est un facteur favorable au démontage des couches supérieures du revêtement sans risquer d'abîmer l'étanchéité. La bonne adhérence de ces couches avec les couches supérieures rend nécessaire le recours au fraisage. La différence de compacité et de formulation entre l'asphalte coulé et les couches supérieures en béton bitumineux permet en général de les distinguer. Cette distinction n'est possible dans le cas d'une couche de protection en béton bitumineux que s'il y a une nette différence de coloration ou de granulométrie entre les deux couches.
- (10) L'épaisseur de la couche et sa faible adhérence avec les couches supérieures (sauf s'il s'agit de béton de ciment) facilitent l'enlèvement des couches supérieures sans risquer de blesser l'étanchéité.
- (11) La faible épaisseur de ce type de protection rend illusoire la possibilité de démonter les couches supérieures sans endommager l'étanchéité.
- (12) Le complexe étanchéité-protection d'asphalte coulé doit toujours comprendre au moins deux couches d'asphalte coulé. Si l'étanchéité elle-même n'en comprend qu'une, il faut donc que la protection soit également en asphalte coulé. Voir à ce sujet ce qui a été dit au § 4.1.1.
- (13) A contrôler principalement : la compatibilité avec le choc thermique.
- (14) A contrôler principalement : la compatibilité chimique.
- (15) Le risque de cloquage de l'asphalte coulé est trop élevé.
- (16) Les fissures du mortier de ciment risquent de se recopier très rapidement dans ce type de revêtement.
- (17) L'incompatibilité est double ; thermique pour les asphaltes coulés et mécanique pour les bétons bitumineux (faible adhérence et rigidité propre de ce type de feuilles).

lorsque l'étanchéité est monocouche. Ce type de protection s'accommode bien d'une mise en œuvre manuelle et convient tout aussi bien pour les petites que pour les grandes surfaces. Il est compatible avec les couches supérieures de tous types.

L'asphalte coulé de protection étant généralement posé par l'étancheur, sa mise en œuvre suit d'ordinaire rapidement celle de l'étanchéité, ce qui est un avantage.

En cas de fortes pentes résultantes du pont ($> 6\%$) il convient d'être attentif à la formulation du mélange. De même tous les types de formulation ne conviennent pas lorsque la couche de protection doit rester découverte (pose différée des couches supérieures) durant une longue période, notamment en été (risques de poinçonnement).

L'asphalte coulé ne convient généralement pas comme protection d'étanchéité du type feuilles préfabriquées ou résines (sauf dans le cas de certaines feuilles autoprotégées). On sera donc particulièrement **attentif à la compatibilité thermique de l'asphalte coulé de protection avec les feuilles utilisées comme étanchéité** des parties verticales du support en complément de l'étanchéité en asphalte coulé sur support plan.

L'asphalte coulé est déconseillé, lorsqu'il n'est pas prévu de poser la couche supérieure avant l'hiver (risque de fissuration thermique).

Signalons enfin que les asphaltes coulés utilisés comme protection sur les parties faiblement inclinées des ponts **ne peuvent servir comme protection sur des supports très fortement inclinés** ($> 12\%$) (relevés...).

L'asphalte coulé n'offre en outre qu'une **possibilité restreinte de reprofilage** (par ex. le comblement des creux de petites dimensions : $\lambda \leq 1$ m).

5.3.1.2. *Béton bitumineux*

Certains bétons bitumineux **conviennent comme protection de la plupart des feuilles préfabriquées et des résines d'étanchéité**. Des précautions particulières tant au niveau de la conception (formulation adaptée, épaisseur nominale limitée à 30 mm) que de l'exécution (finisseuse sur pneus, limitation de la température du mélange au moment du compactage) doivent cependant être prises pour ne pas endommager l'étanchéité. Les bétons bitumineux peuvent **également être utilisés comme protection des bicouches d'asphaltes coulés pour étanchéité**. Ils permettent la pose de tous les types de couches supérieures à l'exception de l'asphalte coulé.

En vue de l'obtention de leurs propriétés mécaniques optimales, les bétons bitumineux doivent être **mis en œuvre à l'aide d'engins mécaniques lourds**. Dans les zones «hors chaussées» et uniquement lorsqu'il n'y a pas moyen de faire autrement, il faut parfois se contenter d'un épandage manuel. Dans ce cas, on prendra des précautions particulières pour limiter le choc thermique (cf. § 5.4.2.).

Si les bétons bitumineux ne sont pas très sensibles aux phénomènes de fissuration thermique, ils risquent cependant lorsque, durant une longue période, ils ne sont pas recouverts par les couches supérieures du revêtement, de subir des cloquages lorsque l'étanchéité est du type feuille préfabriquée, l'épaisseur de la couche étant trop faible pour contrecarrer ce genre de phénomène.

Ce type de protection présente l'avantage de **permettre un certain reprofilage** dans la couche.

Les bétons bitumineux **ne conviennent pas pour** assurer la **protection des parties très fortement inclinées (> 12%)** de l'étanchéité (relevés..)

Ils ne sont généralement pas imperméables mais sont incompatibles avec la pose d'une couche de drainage sous la protection.

5.3.1.3. Feuilles préfabriquées (protection spéciale)

Les feuilles préfabriquées conviennent à la protection des étanchéités du type feuille préfabriquée et résine dans les zones de faibles sollicitations (trottoirs...), **en particulier au droit des points singuliers** (relevés...) du support.

Etant mises en œuvre par l'étancheur lui-même, elles présentent l'avantage de permettre une **protection immédiate de l'étanchéité**. Citons comme autres avantages leur faible épaisseur et leur participation à l'étanchéité dans la mesure où cette protection est placée en adhérence.

Il convient cependant de **vérifier leur compatibilité**, notamment chimique, avec l'étanchéité.

Compte tenu de sa faible épaisseur, **ce type de protection ne peut convenir** dans les zones de fortes actions (trafic de chantier...) et d'une manière générale **sous la chaussée**. Ces feuilles sont en outre généralement incompatibles avec la pose d'une couche supérieure du type asphalte coulé ou béton bitumineux. Signalons enfin qu'elles doivent être recouvertes à bref délai par la couche supérieure en raison du danger latent de cloquage (dû à la faible épaisseur totale du complexe étanchéité – protection) lorsqu'elles sont posées en adhérence ou sur une étanchéité du type feuille préfabriquée.

5.3.2. Choix de la formulation ou du produit

Pour chaque type de protection, il existe diverses formulations ou produits. Le choix s'effectuera en fonction de la situation propre à chaque ouvrage et notamment en fonction du type et du niveau des actions.

5.3.2.1. *Asphalte coulé*

Lorsque le revêtement est appelé à subir un trafic lourd et/ou lent ou encore s'il est destiné à recevoir des véhicules en stationnement, on choisira, en vue d'éviter le **risque d'orniérage ou de poinçonnement**, des compositions à haute stabilité. Celles-ci s'obtiennent notamment en utilisant des liants durs (par ex. la composition conforme au ch. M.2 du CCT 150 (réf. 4)) ou en utilisant comme liant un mélange de bitume et de certains polymères. Des modèles de calcul (réf. 10) permettent de prévoir la résistance à la déformation permanente de revêtements de ponts contenant des protections en asphalte coulé à base de bitume non modifié.

Lorsqu'un asphalte coulé doit être mis en œuvre sur un support dont la **pente résultante** est comprise entre 6 et 12 %, il est utile d'opter pour un mélange à base de bitume-polymère.

Lorsque la couche de protection sera soumise à de **fortes actions thermiques** – notamment en hiver – (cas des protections non recouvertes par les couches supérieures de revêtement ou recouvertes de couches de faible épaisseur) il y a intérêt, pour éviter notamment la fissuration thermique, à choisir des mélanges à faible fragilité aux basses températures. Ces compositions peuvent être obtenues en utilisant notamment des bitumes relativement mous (par ex. mélange allemand, réf. 30) ou des mélanges de bitume-polymère dont le point de fragilité Fraass est plus faible.

Lorsqu'il s'agit de faire un compromis entre une bonne résistance à la déformation permanente et une faible fragilité à basse température, les mélanges à base de bitume-SBS (réf. 34) semblent plus adéquats.

5.3.2.2. *Béton bitumineux*

Il est essentiel de **choisir des matériaux** qui puissent se mettre en œuvre **en épaisseurs nominales de 30 mm**. En effet, des couches plus minces constituent une protection thermique et mécanique insuffisante. Par contre, des couches plus épaisses occasionnent un choc thermique nettement plus élevé au niveau de l'étanchéité et nécessitent, pour des raisons de stabilité, des formulations contenant des pierres de calibre plus important, ce qui augmente le risque de perforation de l'étanchéité.

Parmi les bétons bitumineux du CCT 150 (réf. 4), seuls les types II et III C se mettent en œuvre en 30 mm. d'épaisseur. **Le type II non cloûté** est à préférer lorsque le niveau des actions mécaniques est faible (par ex. trafic faible ou revêtement en béton armé continu). Ce mélange contient en effet moins de pierres que le type III C et le risque de perforation de l'étanchéité est donc plus faible.

Le type III C (formulation 0/7) sera par contre préféré dans le cas de fortes actions mécaniques. En effet, le type II est un mélange riche en

mastic destiné à être cloûté ; lorsqu'il ne l'est pas, sa résistance à la déformation permanente est réduite et il présente un risque accru d'orniérage. Le type III C permet en outre de réaliser un certain reprofilage (épaisseur variable en chape de protection de 20 à 40 mm).

Lorsqu'on souhaite faciliter le démontage ultérieur des couches supérieures du revêtement par fraisage, sans risquer d'endommager l'étanchéité, il peut être utile d'adapter les granulats en vue de pouvoir distinguer la séparation entre la couche de protection et la couche supérieure.

Des modèles de calculs (réf. 10) permettent de déterminer le niveau de contraintes et de comparer les résistances à la déformation permanente et à la fissuration par fatigue des couches de protection faisant partie de diverses variantes de revêtements bitumineux de ponts.

5.3.2.3. Feuilles préfabriquées (protection spéciale)

Leur **choix** tiendra compte notamment des éléments suivants :

- il est essentiel que ces feuilles possèdent une bonne **résistance au poinçonnement et à l'impact**. Des essais de laboratoire (réf. 28) permettent de déterminer ces caractéristiques ;
- les feuilles de protection doivent être **compatibles** chimiquement **avec l'étanchéité** et présenter des caractéristiques satisfaisantes de vieillissement ;
- il doit être **possible de réaliser une adhérence** (éventuellement localement) **avec l'étanchéité**, notamment dans les zones de forte pente et les extrémités des lés.

5.4. MISE EN ŒUVRE DE LA COUCHE DE PROTECTION

Il existe des **conditions d'environnement** communes à **respecter**, quel que soit le type de protection. Citons parmi celles-ci :

- le support doit être **propre** : il convient de débarrasser l'étanchéité des boues, poussières ou autres matières étrangères ;
- l'étanchéité doit être **sèche**. Il est donc proscrit de poser une couche de protection lorsque son support est mouillé, givré ou verglacé.

Ces conditions générales doivent être complétées par des conditions spécifiques à chacun des types de protection.

5.4.1. Asphalte coulé

Ce qui a été dit au § 4.3.2.1. pour **la fabrication et le transport** de l'étanchéité reste valable pour l'asphalte coulé de protection. Il en va de même pour les **conditions climatiques et l'état du support** pour lesquels on se référera au § 4.3.2.3.

D'une manière générale, les considérations (températures – gabarits – mode de pose – joints) émises pour la **pose** des étanchéités en asphalte coulé sur support plan (§ 4.3.2.4.) restent valables pour la pose des asphaltes de protection. Nous y ajoutons les précisions suivantes :

- L'asphalte coulé de protection est **toujours placé en adhérence** sur l'étanchéité. Aucune disposition spéciale n'est à prendre pour obtenir cette adhérence. En effet, grâce à la température de pose, il y a une légère fusion entre l'asphalte coulé de la protection et celui de l'étanchéité.
- **La pose peut également être effectuée par épandage mécanique** à l'aide d'une poutre de répartition ou d'une finisseuse spéciale pour asphalte coulé.
- **Le problème des joints** se pose lorsque l'asphalte coulé est mis en œuvre mécaniquement (joints entre bandes) ou lorsque la pose a dû être interrompue (fin de journée, pluie...). Le raccord entre l'asphalte coulé existant et le nouvel asphalte coulé, fait l'objet d'un soin particulier. La tranche et la face supérieure de l'asphalte coulé existant sont réchauffés de manière à favoriser la fusion entre les deux matériaux. Un talochage de la surface parachève cette jonction. Les joints sont décalés de plus de 500 mm par rapport à d'éventuels joints de la couche inférieure.

Il n'est pas nécessaire d'épandre du sable ou des pierres à la surface d'une couche de protection en asphalte coulé pour provoquer un accrochage mécanique des couches bitumineuses supérieures. Celui-ci sera en effet meilleur en l'absence de ce traitement de surface. Ces opérations peuvent néanmoins être utiles lorsqu'un trafic de chantier est prévu sur la chape de protection (diminution de l'adhérence des pneus des véhicules à l'asphalte coulé).

L'asphalte coulé utilisé comme couche de protection sur ponts **ne peut être mis en œuvre sur des supports très fortement inclinés** (> 12%). A ces endroits, il doit être remplacé par d'autres types de protection, principalement des feuilles préfabriquées. Le raccord entre ces deux types de protection peut se faire bord à bord ou par recouvrement sur l'asphalte coulé.

Le détail des raccordements de la couche de protection en asphalte coulé aux divers points singuliers est présenté au ch. 8.

5.4.2. Béton bitumineux

En ce qui concerne la fabrication et d'une manière générale la pose des bétons bitumineux nous renvoyons à la réf. **33**. Nous ne présenterons ci-dessous que les points particuliers à la pose des couches de protection de l'étanchéité.

Il est essentiel d'obtenir une bonne adhérence entre l'étanchéité et sa protection. A défaut, on rencontrera des difficultés lors de la mise en œuvre de la couche de protection, notamment lors de son compactage (les efforts horizontaux du compactage provoquent le glissement de la protection sur l'étanchéité entraînant éventuellement une diminution de ses caractéristiques optimales : compacité insuffisante, fissures, dénivellations). Cette adhérence est en outre indispensable lorsque, du fait de la situation de l'ouvrage, des efforts horizontaux importants, dus au trafic, sont à craindre. Cette adhérence s'obtient automatiquement, sans couche spéciale, lorsque l'étanchéité est un produit à base de bitume (asphalte coulé ou feuille préfabriquée à base de bitume). Il n'en va pas de même lorsque l'étanchéité ne contient pas de bitume (cas des résines ou des feuilles synthétiques).

Dans ce cas, des dispositions spéciales sont parfois nécessaires : on peut incruster des granulats dans la couche supérieure d'un complexe résineux en vue de prévoir un accrochage mécanique avec la couche de protection. On peut également procéder à l'épandage, avant la pose de la protection, d'une couche d'adhérence (dans certains cas une émulsion de bitume). Ces procédés n'étant pas courants, il convient de vérifier préalablement leur efficacité.

On veillera tout particulièrement lors de la mise en œuvre, à **ne pas endommager l'étanchéité**. Pour ce faire :

- La couche de protection est posée à l'aide d'une **finisseuse sur pneus** (les manœuvres des chenilles risquent d'endommager l'étanchéité). On évite en outre que des granulats, provenant éventuellement du mélange à mettre en œuvre, ne se trouvent sur le chemin de roulement de la finisseuse. De même on évitera les manœuvres brusques (freinage...) et les virages courts des véhicules approvisionnant la finisseuse. Ces précautions sont particulièrement importantes par temps chaud (déformabilité de l'étanchéité) et par temps froid (fragilité de l'étanchéité).
- **Le choc thermique est en général limité** à ce qui est strictement nécessaire. A titre d'exemple, un mélange de type III C peut être compacté d'une manière optimale à 110° C, ce qui correspond, pour une température ambiante moyenne de 20°C, à une température maximale du mélange sur camion de 150° C. A noter que dans le cas de certaines étanchéités (par ex. résine du type polyuréthane), une température minimale de la couche de protection est requise pour obtenir une bonne adhérence entre étanchéité et protection.
- Lorsque la mise en œuvre ne s'effectue pas à l'aide d'une finisseuse, on veillera particulièrement à épandre le mélange dans les plus brefs délais, les tas d'asphalte provoquant en effet un choc thermique important qui risque d'être incompatible avec la tenue de l'étanchéité.

TABLEAU 5.2.
Principales dégradations des couches de protection en
béton bitumineux lors de leur mise en œuvre sur une étanchéité en
feuilles préfabriquées

TYPE	DESCRIPTION - MECANISME	CAUSES PROBABLES	INTERVENTIONS POSSIBLES
CLOQUE	Soulèvement de forme hémisphérique de la couche de protection quelques minutes après sa pose. Après compactage, la zone est généralement fissurée et décompactée et le gonflement fait parfois place à un affaissement.	L'hétérogénéité de l'adhérence de l'étanchéité au support emprisonne des poches d'air qui gonflent sous l'effet du choc thermique dû à la pose de la couche de protection.	Avant la pose : Détecter les zones non adhérentes de l'étanchéité et restaurer l'adhérence avant la pose de la protection. Pendant : Repérer les cloques. Ne percer l'étanchéité que si le compactage est impossible. Après : Réparer les zones affectées. (étanchéité comprise si celle-ci a été percée) suivant les règles décrites à la réf. 1. Lorsque l'étanchéité n'a pas été percée et que la couche est faiblement sollicitée (faible trafic, revêtement en béton armé continu) il est parfois préférable de ne pas réparer.
FISSURES ET/OU BOURRELETS DE LA COUCHE	D'aspect rectiligne, ces dégradations se développent au moment du compactage. Les bourrelets sont généralement perpendiculaires au sens du compactage. Les fissures sont perpendiculaires ou axiales au sens du compactage.	Les discontinuités brusques tant du point de vue de l'épaisseur que du point de vue de l'adhérence entre étanchéité et protection – au droit des recouvrements des lés – provoquent ce type de dégradation. L'effet des discontinuités d'épaisseur est d'autant plus marqué qu'il n'y a pas adhérence entre étanchéité et protection.	Avant : Par ex. chanfreiner les extrémités des lés. – En cas d'étanchéités multicouches, adapter le plan de pose de manière à supprimer les recouvrements saillants. – Prendre des mesures pour supprimer les différences d'adhérence entre étanchéité et protection. Pendant : Nihil. Après : Sceller les fissures, éventuellement fraiser suivant les règles de la réf. 1.
FISSURES ENTRE BANDES DE POSE DE LA COUCHE	Une fissure se développe au compactage entre la bande de protection en cours de pose et celle précédemment posée.	L'adhérence insuffisante entre l'étanchéité et sa protection fait que lors de sa pose et de son compactage, celle-ci glisse sur l'étanchéité, alors que la bande précédemment posée reste en place.	Avant : Utiliser les moyens adéquats pour réaliser l'adhérence entre l'étanchéité et sa protection. Pendant : Nihil. Après : Sceller les fissures suivant les règles de réf. 1.
TOLE ONDULEE	La tôle ondulée se développe principalement au moment du compactage qu'il devient généralement impossible de réaliser.	Soit : rupture de l'adhérence entre étanchéité et support. Soit : destruction de l'étanchéité par la protection dont elle ne supporte pas l'action thermomécanique.	Avant : Améliorer l'adhérence de l'étanchéité au support – Abaisser la température de pose de la protection (dans les limites permises). Pendant : Arrêter la pose et attendre éventuellement le refroidissement du mélange. Après : Renouveler complètement les zones dégradées.

- Dans le même but de limiter le choc thermique, l'épaisseur de la couche de protection doit être limitée au maximum à 40 mm (il ne s'agit pas d'épaisseur nominale, mais bien d'épaisseur réelle après compactage).
- **Le compactage** de la couche de protection **ne s'effectue jamais par vibration** en vue d'éviter tout risque de perforation de l'étanchéité. En outre le compacteur ne peut jamais stationner sur une couche de protection non entièrement refroidie. Lorsque la surface du pont est faible, le problème de l'amenée à température des rouleaux à pneus se pose ; il convient dès lors généralement de leur préférer des rouleaux lisses.

Lorsque l'on profite de la couche de protection pour effectuer un **léger reprofilage** (voir ch. 6) l'épaisseur de celle-ci doit en tout cas rester comprise entre 20 et 40 mm. Dans ce cas, la couche sera posée à l'aide d'un fil de guidage.

Comme l'asphalte coulé, **les bétons bitumineux ne peuvent être utilisés sur des supports très fortement inclinés (> 12 %)**. A ces endroits on utilisera des feuilles préfabriquées qui se raccordent bord à bord avec le béton bitumineux. Pour le détail du raccordement de la protection du béton bitumineux aux points singuliers, on s'inspirera de ce qui est décrit au ch. 8.

Lorsque la couche de protection est posée jusque contre un point singulier, le compactage de la couche de protection à l'aide d'engins lourds sera arrêté à quelques centimètres de celui-ci, en vue de ne pas endommager l'étanchéité du point singulier. On ne négligera pas le compactage aux abords immédiats du point singulier, mais celui-ci se fera pour des raisons de maniabilité à l'aide d'engins de petites dimensions.

Malgré le soin apporté à la pose de la couche de protection en béton bitumineux il peut arriver que des dégradations se fassent jour lors de l'exécution et notamment au moment du compactage, principalement sur des feuilles préfabriquées. On trouvera au **tableau 5.2.** une **liste des principaux problèmes qui peuvent se présenter à la pose, leurs causes probables et les remèdes préconisés.**

5.4.3. Feuilles préfabriquées (protection spéciale)

Si l'on ne cherche pas, à l'aide de cette couche, à doubler la couche d'étanchéité, il n'est pas nécessaire de prévoir dans celle-ci des **recouvrements de lés** ; ceux-ci peuvent alors être placés bord à bord, ce qui permet d'éviter les surépaisseurs.

Dans ce cas également, une **adhérence** totale à l'**étanchéité** n'est en général pas nécessaire, mais il est indispensable de pouvoir obtenir une adhérence locale en vue de maintenir la feuille correctement en place notamment lors de la mise en œuvre des couches supérieures. Cette adhérence sera donc principalement recherchée aux extrémités des lés et aux changements de direction du support.

Si cette couche est utilisée comme complément de l'étanchéité, l'adhérence et les recouvrements de lés sont indispensables.

On s'inspirera du ch. 8. pour étudier et réaliser les détails de raccordement de ces feuilles aux points singuliers.

5.5. CONTROLES

5.5.1. Asphalte coulé

- Ce qui a été dit au § 4.4.1. en ce qui concerne le contrôle et la réparation des asphaltes coulés d'étanchéité reste vrai pour les asphaltes coulés de protection.
- On observera tout particulièrement les joints de reprise. Les escaliers seront corrigés par réchauffage et talochage. Si les fissures qui y sont constatées se prolongent à travers l'étanchéité, la réparation devient particulièrement délicate. L'asphalte coulé doit être ôté (généralement par fraisage) sur une largeur de 100 mm, de part et d'autre de la fissure, sans pour autant blesser l'étanchéité. L'étanchéité est alors réparée comme signalé au § 4.4.1. Le vide de la chape de protection est alors comblé à l'aide d'un nouveau mélange pour chape de protection.
- On sera également attentif aux endroits où l'asphalte coulé de protection est en contact avec des feuilles préfabriquées, notamment bitumineuses. Il est vraisemblable que le bitume de ces feuilles remonte – tout au moins partiellement – au travers de l'asphalte coulé de protection. On comparera l'aspect visuel de ces remontées à celles d'essais préliminaires ayant montré que l'état résiduel de la feuille était satisfaisant.

5.5.2. Béton bitumineux

- L'extraction de carottes de la couche de protection est à proscrire : le contrôle de la composition se fait sur les matériaux en vrac et celui de la teneur en vides par voie non destructive, par ex. au moyen d'un radiodensitomètre (réf. **35**).
- L'épaisseur de la couche se calcule sur base des quantités de matériaux utilisés ou sur base d'un nivellement topographique.

- Les principales dégradations (ainsi que les modes d'intervention) que l'on risque de rencontrer au niveau de la chape de protection sont rassemblées au tableau 5.2.

5.5.3. Feuilles préfabriquées

- Au cas où cette couche sert de complément d'étanchéité, on contrôle le recouvrement des lés et l'adhérence.
- Dans tous les cas, on répare localement les cloques, arrachages, déchirures, poinçonnement, perforations et autres dégradations dues notamment à l'exécution des travaux aux abords immédiats.

5.6. POSE DES COUCHES SUPERIEURES A LA COUCHE DE PROTECTION

Dans un revêtement de pont, la couche de protection n'est destinée à subir que temporairement les actions thermiques et/ou mécaniques directes. Elle doit toujours être recouverte, dans l'état définitif du revêtement, par au moins une autre couche.

On trouvera au § 2.4. certaines informations au sujet des délais de pose de ces couches supérieures, notamment en ce qui concerne les couches de protection en asphalte coulé.

6. LE REPROFILAGE

6.1. LE PROBLEME

La **nécessité de reprofiler** résulte des différences de parallélisme de plus de 10 mm entre les profils (transversaux et longitudinaux) ($\lambda \geq 1 \text{ m}^*$) du béton de la dalle de platelage et ceux qu'il est convenu d'obtenir au niveau supérieur du revêtement. Ces écarts de parallélisme proviennent soit d'erreurs en cours de construction, soit sont obtenus d'une manière délibérée, par exemple : comme résultat des écarts entre profil en long théorique et profil en long conventionnel (voir § 3.1.2.1.) ou encore en prévision de la réalisation de la pente transversale du revêtement par le reprofilage. Signalons que cette dernière manière de procéder n'est pas à conseiller.

Etant donné qu'il est exclu de raboter de grandes surfaces de la dalle de platelage, le rétablissement du parallélisme des profils s'obtient **nécessairement par l'ajout de matériaux supplémentaires** entre la surface du tablier et celle de la couche supérieure du revêtement : c'est le reprofilage.

En vue de diminuer la quantité de matériaux d'apport, qui constituent toujours une dépense non structurellement nécessaire au revêtement et un poids mort pour l'ouvrage, il peut être utile **d'envisager**, dans le cas des grands ouvrages, **la modification des profils à obtenir au niveau supérieur du revêtement.**

Ce qui suit a été rédigé dans l'optique du reprofilage de la chaussée. On peut cependant partiellement s'en inspirer pour ce qui concerne les **reprofilages à réaliser dans la zone des accessoires de chaussée.** Ainsi pour ces zones, le § 6.2. est d'application dans la mesure où les profils en long à réaliser au niveau supérieur du revêtement de la chaussée et de la zone hors chaussée sont parallèles. En ce qui concerne le choix du type de reprofilage, on s'inspirera à la fois du § 6.3. et de ce qui est repris pour chacun des accessoires de chaussée au ch. 8. La réalisation proprement dite (choix des matériaux, exécution) est étudiée au ch. 8.

6.2. CORRECTION DU PROFIL EN LONG

Le remplacement du profil en long projeté au niveau supérieur de la couche de roulement par un profil en long « optimisé » peut s'effectuer moyennant le **respect de certains principes :**

- il faut que le rayon de courbure, en tout point du profil, soit tel que le confort de l'utilisateur ne soit pas altéré ; tenant compte de la vitesse des véhicules, on trouvera au **tableau 6.1.**, à titre d'exemple, des valeurs minimales pour ce rayon de courbure (réf. 24).

* cf. § 3.2.

- il faut que le profil optimisé soit tel que l'écoulement des eaux soit assuré, au niveau de la surface du revêtement, ainsi que, le cas échéant son évacuation aux autres niveaux de celui-ci.
- il faut vérifier l'influence des charges résultantes sur la stabilité de l'ouvrage.

TABLEAU 6.1.
Rayons de courbure minimaux du profil en long

Vitesse (km/h)	60	80	100	120	(140)
Rayons de courbure minimaux (m)	1.500	2.000	2.500	3.500	(4.500)

L'optimisation ou «lissage» du profil en long peut se faire par exemple, suivant le schéma repris de la réf. 24 :

- 1) Après établissement des relevés topographiques, par exemple de 3 profils en long, on dessine (**figure 6.1.** – opération 1) :
 - en abscisses, les longueurs,
 - en ordonnées, les écarts entre les cotes théoriques et les cotes relevées.
- 2) A partir de ces différents profils en long, on dresse un profil en long constitué par les points les plus hors tolérances vers le haut de chaque profil en travers (**figure 6.1.** – opération 2).
- 3) Dans le cas général où seule la condition sur les rayons de courbure est à satisfaire, la méthode graphique suivante permet de résoudre rapidement le problème : on fait passer par les points hauts du relevé, des courbes de rayon égal au rayon minimal requis (tableau 6.1.). Vu la déformation des échelles de la figure, ces courbes sont des ellipses (**figure 6.1.** – opération 3). Les différentes courbes convexes sont reliées par des courbes concaves de rayon supérieur ou égal au rayon minimal.
- 4) La courbe lissée obtenue est reportée sur chaque profil en long (**figure 6.1.** – opération 4), ce qui donne le profil en long optimisé qui permet ainsi de déterminer les épaisseurs de reprofilage.

Insistons sur le fait que **le profil optimisé doit permettre l'évacuation des eaux** en surface du revêtement ainsi qu'au bas des couches non imperméables de celui-ci, si un drainage est prévu à ce niveau. Ces

principes peuvent amener à modifier les positions et les rayons de courbures minimaux des éléments de raccord du profil optimisé, et/ ou à modifier l'implantation ainsi que le nombre des avaloirs et des gargouilles. Il convient alors de s'assurer de la faisabilité de ces modifications.

6.3. CHOIX DU TYPE DE REPROFILAGE

Dans ce paragraphe, on analyse les diverses manières de réaliser le reprofilage, c-à-d. de combler les différences de parallélisme entre le niveau supérieur du revêtement et celui de la dalle de platelage.

6.3.1. Reprofilage en faisant varier l'épaisseur d'une couche de revêtement

Disons d'emblée que sauf pour les couches de roulement en béton armé continu, **le reprofilage ne peut pas se faire en faisant varier l'épaisseur des couches fondamentales du revêtement** (étanchéité – protection – roulement) :

- par leur constitution, les chapes d'étanchéité ne permettent aucune variation d'épaisseur et il en est de même pour les couches de protection en asphalte coulé ;
- il est essentiel d'exécuter les couches de roulement en béton bitumineux en épaisseur constante en vue de leur conférer des caractéristiques optimales compatibles avec le niveau des actions qu'elles subissent ;
- certaines couches de protection en béton bitumineux permettent un léger reprofilage ; on ne peut cependant faire varier leur épaisseur qu'entre des limites très strictes (20 à 40 mm).

Le reprofilage ne peut donc la plupart du temps s'effectuer qu'en ajoutant une ou plusieurs couches spécialement destinées à cet usage, ou en faisant varier l'épaisseur de la couche de liaison, si celle-ci est prévue dans le revêtement.

6.3.2. Reprofilage à l'aide d'une couche spécifique

Outre leurs caractéristiques intrinsèques (résistance à la fissuration, à la déformation et au vieillissement) dues au fait que ces couches forment une partie intégrante du revêtement, il est essentiel de contrôler la compatibilité de ces couches avec les couches inférieures et supérieures.

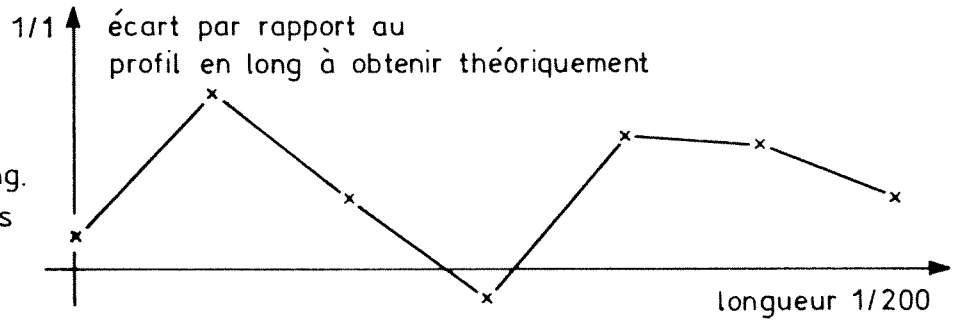
Pour ces raisons, **on exclura les reprofilages :**

- en béton bitumineux sous la chape d'étanchéité (support instable et danger de cloquage pour l'étanchéité).

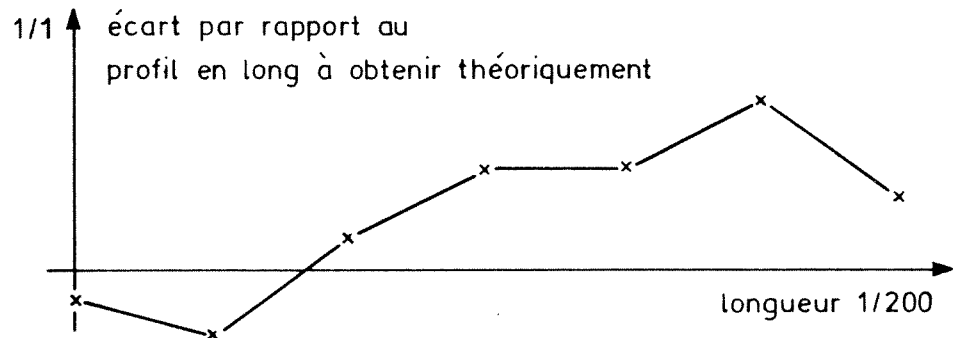
OPERATION 1 :

report graphique des
différents profils en long.
Exemple traité avec trois
profils en long

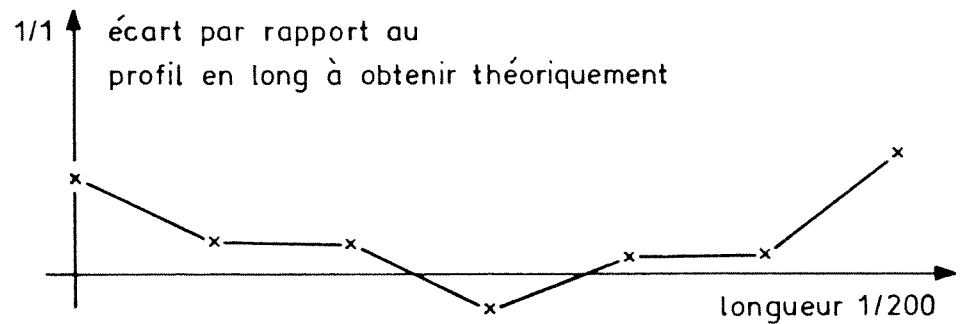
PROFIL 1



PROFIL 2



PROFIL 3



OPERATION 2 :

profil en long constitué
des points les plus hors
tolérances vers le haut

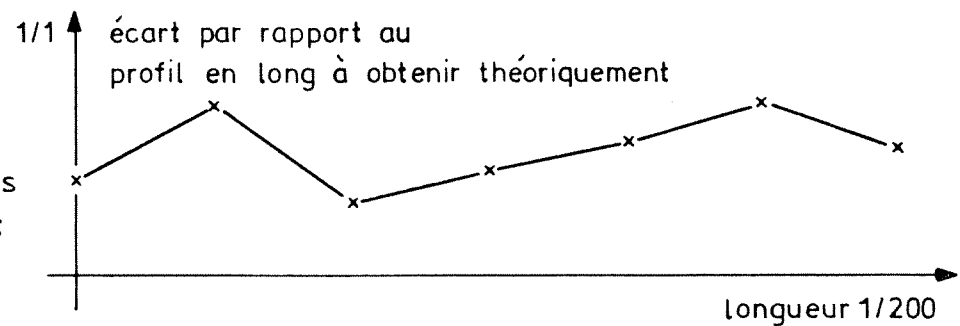
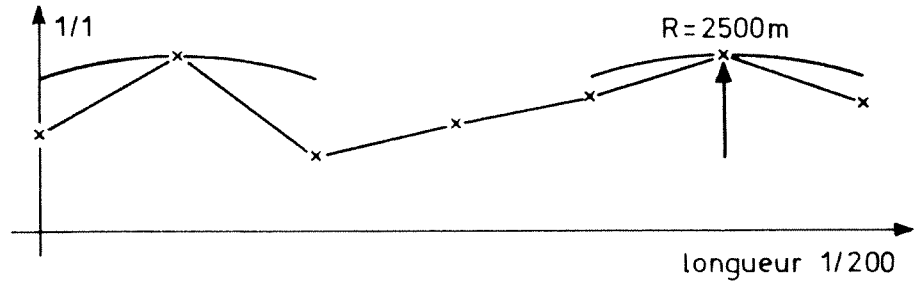


Fig. 6.1.
Optimisation du reprofilage dans le sens longitudinal
— détail des opérations —

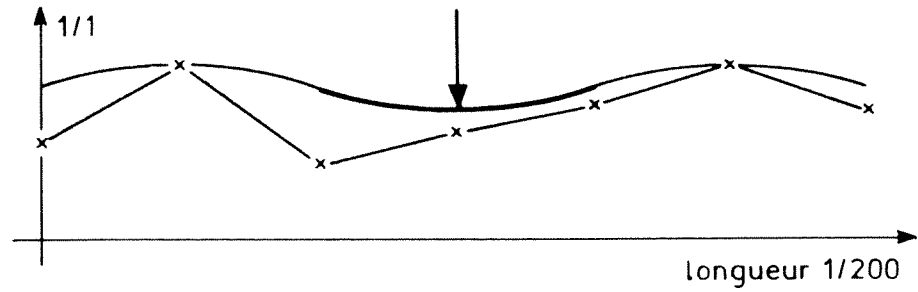
OPERATION 3 :

tracé de la
courbe lissée

3.1 points hauts



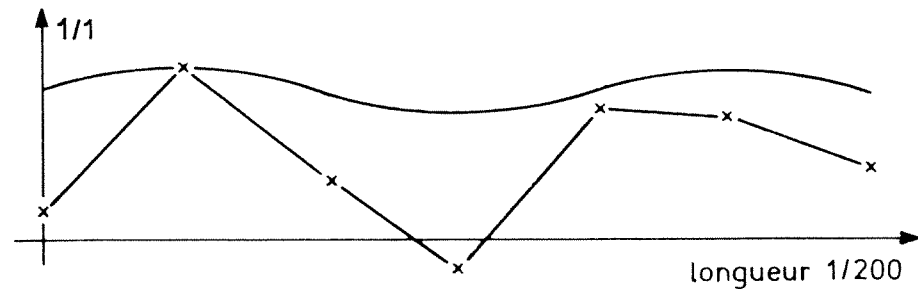
3.2 jonction des
parties convexes



OPERATION 4 :

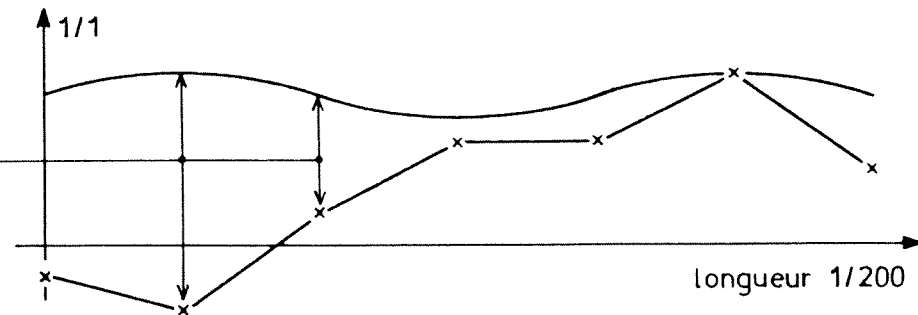
report de la ligne
optimisée sur les
différents profils en long

PROFIL 1



épaisseur théorique
de reprofilage

PROFIL 2



PROFIL 3

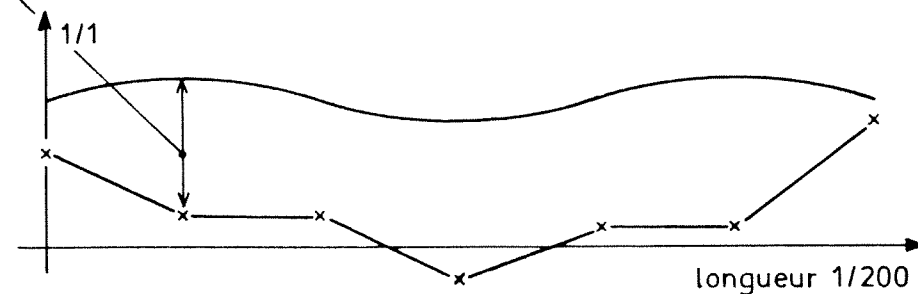


Fig. 6.1.
Optimisation du reprofilage dans le sens longitudinal
– détail des opérations – (suite)

- entre la chape d'étanchéité et la couche de protection : exclu lorsque la couche de protection est en asphalte coulé (cloquage), non recommandé lorsqu'elle est en béton bitumineux. En effet, l'étanchéité risque d'être perforée lors du compactage des zones de faible épaisseur (10 mm) de la couche de profilage.
- en mortier ou béton de ciment entre la couche de protection et de roulement (pour les mêmes raisons que les couches de protection en mortier de ciment : cf. § 5.2.3.).

Le reprofilage sera donc exécuté soit entre la protection et la couche de roulement à l'aide d'une ou de plusieurs couches de liaison en béton bitumineux soit sous l'étanchéité à l'aide d'un mortier ou d'un béton du type hydraulique ou résineux, soit encore par une combinaison des deux méthodes.

6.3.3. Comparaison entre le reprofilage sous l'étanchéité et celui effectué à l'aide d'une couche de liaison

6.3.3.1. *Reprofilage par couche de liaison*

Le reprofilage à l'aide de matériaux bitumineux posés en couche de liaison est le plus fréquent. Il fait en effet appel à des matériaux classiques en construction routière. L'obtention des caractéristiques optimales au sein de ces couches nécessite cependant des précautions particulières liées à la mise en œuvre en épaisseur variable (voir à ce sujet le § 6.5.).

Ce type de reprofilage n'est cependant pas exempt d'inconvénients. Parmi ceux-ci, citons :

- Un risque supplémentaire de stagnation d'eau au-dessus de la chape d'étanchéité (ou de la couche de protection) si les dispositifs de drainage n'ont pas été placés au bon endroit ;
- du fait de la mise en œuvre mécaniques des bétons bitumineux, ce type de reprofilage se prête peu à une mise en œuvre sur des petites surfaces ($< 10 \text{ m}^2$) ;
- l'épaisseur totale variable du revêtement rend difficile l'exécution de réparations partielles ultérieures de celui-ci (par ex. remplacement des couches supérieures du revêtement à l'exclusion de l'étanchéité et de sa protection).

6.3.3.2. *Reprofilage sous l'étanchéité*

Après exécution du reprofilage sous l'étanchéité, la qualité de celui-ci devrait être telle qu'il présente des caractéristiques identiques à celles du béton de la dalle de platelage, notamment du point de vue résistance à la déformation, à la compression et à la fissuration, ainsi

que du point de vue adhérence et inaltérabilité. Pour arriver à de tels résultats, il est essentiel de veiller à une excellente adhérence au support ainsi qu'à une formulation et une mise en œuvre particulièrement soignée. Ces travaux doivent en général être confiés à des spécialistes.

Malgré un coût probablement plus élevé, ce type de reprofilage présente les avantages suivants :

- il peut être mis en œuvre sur de petites surfaces ;
- il permet l'exécution du revêtement en épaisseur constante, ce qui offre les avantages suivants : pas de pièges à eau supplémentaires à la base des couches non imperméables du revêtement ; risques moindres quant à la qualité des bétons bitumineux du fait de leur exécutions en épaisseur constante et possibilité plus aisée de remplacement des couches supérieures du revêtement (voir ci-dessus) en cas de réparation partielle de celui-ci ;
- il permet le cas échéant de réaliser un meilleur support (planéité – texture – résistance superficielle : cf. ch. 3) pour les étanchéités du type feuilles préfabriquées ou résines.

6.4. CONCEPTION, EXECUTION ET CONTROLE DU REPROFILAGE SOUS L'ETANCHEITE

Pour rappel le reprofilage concerne les grandes surfaces. Le cas des petites surfaces ($\pm 1 \text{ m}^2$) est traité au § 3.4.7. concernant le ragréage.

Compte tenu de l'existence de certains points communs existant entre les techniques et les matériaux utilisés pour le reprofilage sous l'étanchéité et ceux employés pour la restauration des structures en béton, on consultera éventuellement les réf. **25** et **26**.

6.4.1. Choix des matériaux et systèmes

On se reportera au § 3.4.7.2. en ce qui concerne les **critères de choix et les exigences minimales** ainsi qu'au tableau 3.1. (page 44) en ce qui concerne **la comparaison des caractéristiques des diverses formulations** possibles.

Dans la pratique, on choisira le type de matériaux d'après l'épaisseur disponible.

6.4.1.1. *Reprofilage épais* (épaisseur supérieure à 50 mm)

Economiquement des **bétons à base de liants hydrauliques normaux** se justifient. Si des sollicitations mécaniques importantes (joint de dilatation, zone de freinage...) sont prévues à l'interface et dans le matériau, il sera utile d'envisager **l'utilisation d'un adhésif** (à base de liants résineux réactifs) (cf. § 3.4.7.1.3 et 3.4.7.2.4.) ou si les actions

sont plus faibles, à base d'un L.H.M.* (cf. § 3.4.7.1.1) et/ou l'utilisation d'une armature éventuellement solidarifiée avec le support (par exemple armature avec mailles de 150 x 150 mm de fils de 4 mm de diamètre).

6.4.1.2. *Reprofilage en épaisseur plus faible (10 à 50 mm)*

Il est utile d'envisager l'utilisation d'un **mortier à base de L.H.M.*** répondant aux critères cités au point 3.4.7.1.1. Les considérations émises ci-dessus (§ 6.4.1.1.) concernant l'adhésif restent valables. Compte tenu des temps de maturation éventuellement élevés, il convient de vérifier si les délais entre la mise en œuvre et la pose de l'étanchéité sont compatibles.

6.4.2. **Exécution**

Pour la réalisation des reprofilages épais, on observera les principes repris au § 3.3. concernant l'exécution de la dalle de platelage, de manière à ce que le complexe ainsi réalisé satisfasse aux exigences du § 3.2. en tant que support de l'étanchéité.

Pour ce qui concerne les reprofilages en épaisseur plus faible ainsi que pour les couches d'adhérence des reprofilages épais, on se référera aux recommandations du § 3.4.7.3 concernant le ragréage.

6.4.3. **Contrôle**

Le contrôle des reprofilages en épaisseur faible sera exécuté comme celui des ragréages (§ 3.4.7.4.). Quel que soit le type de reprofilage, les contrôles a posteriori seront exécutés comme décrit au § 3.4.7.4.2.

6.5. **CONCEPTION, EXECUTION ET CONTROLE DU REPROFILAGE A L'AIDE DE LA COUCHE DE LIAISON**

Le première étape du reprofilage à l'aide d'une couche de liaison est **le nivellement topographique** de la face supérieure de la chape de protection. Ce nivellement permettra de déterminer les épaisseurs des matériaux à mettre en œuvre.

6.5.1. **Choix des matériaux**

Le béton bitumineux prévu dans les cahiers des charges-types (réf. 4) pour les couches inférieures, constitue le matériau adéquat pour la couche de liaison.

Sa **composition** (notamment le calibre maximum des granulats) tient compte de l'épaisseur nominale de la couche ; c'est ainsi que l'on peut utiliser, en Belgique, au moment de la rédaction du présent code, le

* L.H.M. : liant hydraulique modifié.

béton bitumineux type III A pour des épaisseurs nominales de 60 à 80 mm, le type III B si cette épaisseur est située entre 40 et 60 mm, et le type III C, si l'épaisseur est comprise entre 10 et 40 mm.

Il est indispensable de respecter ces **épaisseurs**. Ceci entraîne l'interdiction de terminer une couche en sifflet (épaisseur = 0) et éventuellement l'obligation de travailler en escalier, de combiner divers matériaux et de poser en plusieurs couches.

Si les épaisseurs de reprofilage sont très variables, il est en effet préférable de mettre en œuvre deux ou plusieurs couches successives, là où les épaisseurs à poser sont les plus fortes, de façon à toujours travailler avec des matériaux, dont la composition est adaptée à l'épaisseur réellement mise en œuvre.

6.5.2. Travaux préliminaires

La couche de liaison étant réalisée en épaisseur variable, il importe que ce travail soit réalisé avec un **guidage** précis. C'est pourquoi, on préparera ce guidage minutieusement :

- en matérialisant sur l'ouvrage les épaisseurs à épandre, par des indications sur chaque côté de chaque bande de pose, et cela tous les 4 à 5 m dans le sens longitudinal.
- en plaçant les fils de guidage nécessaires, suivant les recommandations de la réf. **33**. Il est essentiel que les potences soutenant les fils de guidage ne percent pas l'étanchéité. On utilisera donc des supports posés sur la couche inférieure. Le fil de guidage peut être remplacé par une bordure existante, du moins si le profil en long de celle-ci convient.

En vue d'éviter d'engendrer un escalier dans la couche de roulement, il peut s'avérer nécessaire de fraiser la couche inférieure (voir **figure 6.2.**) aux endroits où l'épaisseur de la couche de reprofilage devrait être nulle. Lorsque ce fraisage s'effectue dans la couche de protection, on sera particulièrement attentif à réduire ce **fraisage** au minimum, tant en étendue qu'en épaisseur.

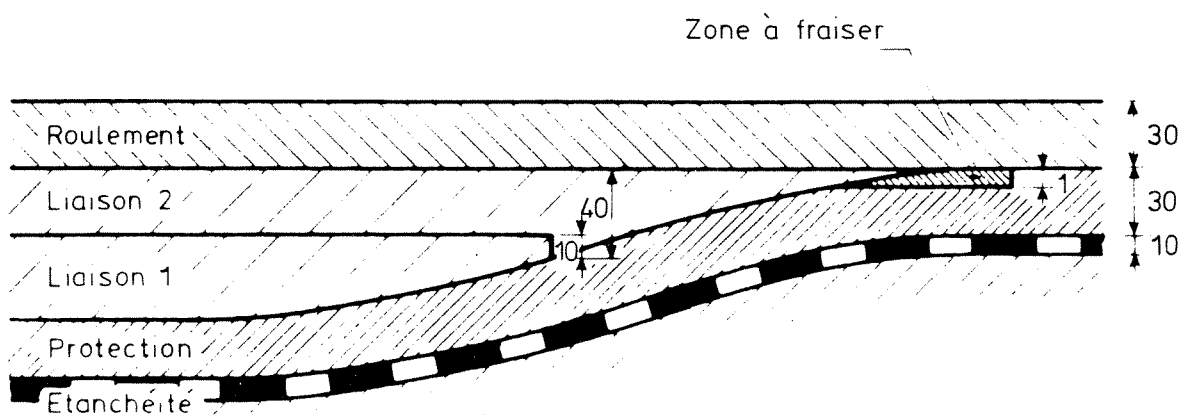


Fig. 6.2.
Exemple de reprofilage

Il est évident que tous les **autres travaux préliminaires** (notamment la couche d'accrochage...) à la pose d'un béton bitumineux (réf. **33**) seront également réalisés.

6.5.3. Exécution

Les recommandations pour la pose et la fabrication des bétons bitumineux (réf. **33**) sont valables pour la couche de liaison.

Divers points ne peuvent cependant être perdus de vue lors de l'exécution sur ponts :

- a) il faut **éviter** absolument **toute mise en œuvre manuelle**, qui créerait une moindre compacité de la couche ;
- b) **toute pose par temps de pluie est proscrite**, non seulement à cause du refroidissement rapide des enrobés, mais aussi à cause des problèmes d'évacuation des eaux, spécifiques au cas des ponts ;
- c) quand c'est nécessaire, on ne peut exclure un **précompactage par vibration** de la table du finisseur, ni un compactage par vibration des rouleaux des compacteurs, car la fréquence de ces vibrations (pour autant qu'elle reste supérieure à 25 Hz) est fortement différente de la fréquence fondamentale du pont lui-même, qui se situe entre 1 et 10 Hz.

On consultera le § 5.4.2. en ce qui concerne l'utilisation des rouleaux à pneus ;

- d) plus encore qu'en section courante (hors pont), il est nécessaire de **raccorder avec soin les enrobés aux accessoires de chaussée et autres points singuliers** ; ces raccordements exigent souvent une finition manuelle soignée des enrobés ;

D'une manière générale, le compactage de la couche au voisinage immédiat d'un point singulier sera effectué à l'aide d'engins légers (plaque vibrante, petit rouleau vibrant par exemple). Il faut en effet à tout prix éviter d'endommager les points singuliers eux-mêmes (joints – avaloirs – nez en béton...) ou les raccords de l'étanchéité (relevés...) particulièrement délicats à ces endroits.

- e) **le guidage** se fait de toute façon avec une référence externe, de préférence avec, de chaque côté du finisseur, un fil de guidage sur lequel repose un palpeur ; celui-ci sera à contrôle proportionnel plutôt qu'à contrôle «par paliers successifs» ; si la pente transversale est constante, on peut travailler avec un seul fil de guidage, complété par un système de réglage automatique de la pente transversale ;
- f) l'épaisseur de la couche de liaison étant variable, cela créera inévitablement des tassements différentiels lors du compactage ; avec **des variations limitées de cette épaisseur** (par exemple, en prévoyant une deuxième couche de reprofilage en certains endroits

cf. § 6.5.1. et figure 6.2.), on obtiendra des tassements différentiels limités (< 10 mm) qui pourront aisément être «repris» par la couche de roulement.

- g) pour rappel (cf. tableau 2.4.) la couche de liaison (ou la couche inférieure de celle-ci) ne peut être mise en œuvre au plus tôt qu'un jour après la pose de la couche de protection.

6.5.4. Contrôle de la couche de liaison

Le contrôle de la couche de liaison sur ponts se fait de la même façon qu'en section courante sauf pour tout ce qui se fait au départ de carottes. En effet, il faut **proscrire de prélever des carottes** dans les revêtements de ponts car le prélèvement de celles-ci risque d'occasionner des dégâts à l'étanchéité. C'est pourquoi, il est vivement conseillé de contrôler la compacité des revêtements asphaltiques par voie non-destructive, par exemple au moyen d'un nucléodensitomètre (réf. **35**).

En ce qui concerne la **planéité**, on veillera (voir § 6.5.3.) à ce que les écarts par rapport au profil à réaliser ne dépassent pas 10 mm, pour éviter des différences de compacité dans la couche de roulement.

7. LA COUCHE SUPERIEURE DE LA CHAUSSEE

La couche supérieure des revêtements des zones hors chaussée est étudiée au ch. 8. Nous nous intéressons donc dans ce chapitre uniquement à la couche supérieure de la chaussée.

7.1. RÔLE

La couche de roulement est la couche supérieure de la chaussée et est donc en contact direct avec l'environnement climatique et avec les pneus des véhicules. Aussi, dans le but d'assurer la sécurité et le confort de l'utilisateur, doit-elle avoir des caractéristiques souvent différentes de celles des couches inférieures. Elle doit notamment :

- 1) présenter une bonne **planéité** ;
- 2) posséder des **propriétés antidérapantes** ;
- 3) être **résistante aux déformations permanentes, à la fissuration** (fatigue et actions thermiques) **et à l'usure** sous le passage des roues des véhicules ;
- 4) engendrer le cas échéant un **faible niveau du bruit** ;
- 5) être **le moins perméable possible***.

Ce dernier point est plus important pour les revêtements des ponts que pour les revêtements routiers en section courante. En effet, dans le cas des ponts, les eaux pénétrant dans le revêtement cheminent inévitablement jusqu'à la chape d'étanchéité, où elles sont arrêtées et peuvent difficilement être évacuées sauf dans le cas de béton armé continu sous lequel un géotextile de drainage peut être placé (§ 8.10.1.2). Cette présence d'eau dans le revêtement du pont peut alors être à l'origine de nombreuses dégradations (désenrobage, pelade...).

Contrairement aux couches sous-jacentes, il est indispensable que les pierres en contact avec les pneus des véhicules offrent une résistance suffisante à l'usure, au polissage et à la compression.

7.2. CHOIX DU TYPE DE COUCHE DE ROULEMENT

Afin d'assurer une continuité d'aspect de la route, **on cherchera souvent à choisir sur le pont une couche de roulement semblable à celle du revêtement adjacent.**

* Au moment de la rédaction du présent code de bonne pratique, les enrobés drainants (environ 20% de vides) faisaient l'objet d'une recherche. Il est possible que, vu les avantages offerts par ce type de revêtement, celui-ci soit posé à l'avenir sur certains ponts (profil en long en creux, changement de dévers). L'attention doit alors être portée sur l'évacuation latérale des eaux qui doit être prévue au niveau inférieur des enrobés drainants.

Au cas où la chaussée hors pont possède un revêtement en béton armé continu, il y a souvent intérêt à prolonger ce type de revêtement sur les passages inférieurs de l'itinéraire. Il convient alors de s'assurer de la compatibilité du revêtement en béton armé continu avec l'ouvrage sous-jacent. Il s'agit de contrôler non seulement le profil en long, le gabarit, et les surcharges dues à l'épaisseur, mais encore les efforts horizontaux dus au frottement entre béton armé continu et superstructure du pont. En effet, d'une manière générale, cette superstructure doit pouvoir se dilater et se rétrécir librement, tandis que le béton armé continu ne subira aucun déplacement horizontal.

Les ouvrages du «type cadre» de faible portée (< 15 m) sont en général compatibles avec la pose du béton armé continu. En effet, dans ce cas, le mouvement horizontal du pont est généralement faible et peut être repris par la déformabilité des couches bitumineuses sous-jacentes (étanchéité – protection – liaison éventuelle).

Pour les ouvrages plus importants – sauf s'il ont été dimensionnés à cet effet – des dispositions complémentaires (cf. § 7.2.1.) doivent être prises.

7.2.1. Béton armé continu

7.2.1.1. Cas où le béton armé continu passe sur le pont

- Pour rappel (cf. § 7.2.), le passage du béton armé continu sur un pont, ne peut être prévu que lorsque l'ouvrage a été dimensionné pour reprendre les efforts horizontaux engendrés par ce type de revêtement. On peut toutefois limiter les efforts horizontaux par l'interposition d'une **couche de glissement** entre le béton armé continu et les couches sur lesquelles il repose.

Le type de couche de glissement à employer est fonction des efforts horizontaux admis dans la note de calcul. Cette couche de glissement est généralement constituée de deux feuilles plastiques superposées possédant un faible coefficient de frottement et si possible une rigidité suffisante.

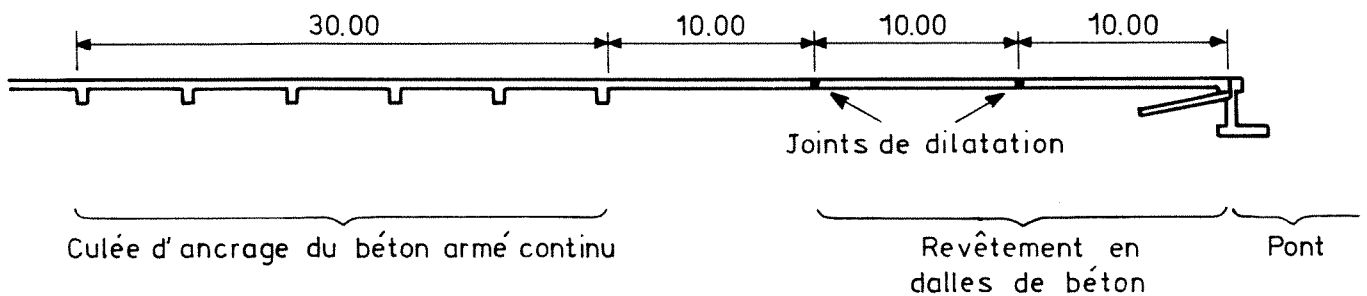
- En ce qui concerne **la conception du béton armé continu**, d'une manière générale, la composition, la fabrication et l'épaisseur de cette couche sont identiques aux caractéristiques correspondantes du revêtement adjacent. A noter toutefois, que compte tenu des déformations importantes qui risquent de s'y produire, les armatures doivent être doublées au droit des culées et pieds-droit des ouvrages (cf. § 7.3.1.). On se référera donc à la réf. **36** pour les autres aspects ainsi qu'à la réf. **37** en ce qui concerne les pierres de cloutage.

- Rappelons enfin qu'il est souhaitable de poser le béton armé continu sur une **couche de drainage** (cf. § 8.10.1.). Celle-ci se pose au-dessus de l'éventuelle couche de glissement.

7.2.1.2. Cas où le béton armé continu est interrompu au droit du pont

Lorsque le béton armé continu ne peut pas être posé sur le pont (cf. § 7.2.), il doit être interrompu par une culée d'ancrage à 30 m de la culée du pont (cf. **figure 7.1.**). Le revêtement de ces 30 m est réalisé par des dalles en béton armé munies de joints de dilatation. Ces joints ont pour but de reprendre les dilatations thermiques des dalles en béton armé et d'éviter les poussées sur la culée de l'ouvrage.

Sur le pont les couches supérieures du revêtement sont réalisées en béton bitumineux (cf. § 7.2.2.).



cotes en m

SOC 16.027/2

Fig. 7.1.
Interruption du béton armé continu devant un pont

7.2.2. Béton bitumineux

Le type de couche de roulement le plus utilisé en Belgique sur les ponts est le béton bitumineux. La formulation de la couche d'usure doit tenir compte de la nécessité d'obtenir une très grande imperméabilité (§ 7.1.). C'est pourquoi, dans les cahiers des charges-types, la composition des couches d'usure bitumineuses est différente de celle des «sous-couches» ou couches de liaison (ch. 6). Il s'agit alors des bétons bitumineux type I A (épaisseur nominale 50 mm), type II (30 mm) ou type IV (40 mm) (cf. réf. 4).

Dans le cas où la couche supérieure du revêtement de pont est réalisée en même temps que celle de la chaussée adjacente, il y a intérêt à **choisir le même type de couche de roulement sur et hors pont** sauf dans les cas suivants :

- la couche supérieure de la chaussée hors pont est une couche provisoire ;
- l'épaisseur disponible pour la couche de roulement du pont ne correspond pas à celle du revêtement adjacent ;
- des performances spéciales sont exigées pour la couche de roulement du pont.

Dans les autres cas, le choix d'un des types de béton bitumineux susmentionnés sera déterminé par l'épaisseur disponible, tenant compte de la différence entre le profil final à obtenir et celui de la face supérieure de la couche inférieure.

Lorsque le choix est possible, on préférera le type IA au type II (de la réf. 4), car le type IA se met plus facilement en œuvre (posé en 50 mm d'épaisseur, il se refroidit moins vite) que le type II.

Dans le cas particulier où le béton armé continu est interrompu de part et d'autre du pont, on veillera à utiliser des pierres de couleur blanche en vue de se rapprocher au maximum de **la coloration** du béton armé continu.

Notons également que si des **propriétés antidérapantes** sont particulièrement recherchées (routes rapides, pont courbe ou zones de freinage) les revêtements cloutés sont à recommander. Parmi ceux-ci, il y a le béton bitumineux type II du Cahier des charges type 150 ; mais on peut également recommander le béton bitumineux type IA du Cahier des charges types 150 complété par un cloutage au moyen de pierres 7/10 ou 10/14. Des expériences du Centre de Recherches Routières (réf. 38) ont montré les bonnes qualités de ce type de couche de roulement, non prévu cependant dans les cahiers des charges type.

Les recommandations de la réf. 38 doivent être suivies pour les pierres de cloutage et, dans le cas de revêtements non cloutés, pour les pierres du revêtement lui-même.

On signalera également qu'il est possible d'améliorer la résistance à la fissuration par fatigue et aux déformations permanentes des bétons bitumineux en modifiant le bitume habituellement utilisé. Des études sont en cours actuellement à ce sujet, notamment au Centre de Recherches routières, auprès duquel tout avis peut être demandé. Les recommandations qui suivent ne concernent que le béton bitumineux au bitume non modifié.

7.2.3. Asphalte coulé

Anciennement on a réalisé des couches d'usure de ponts en «guss-asphalt». Toutefois ces réalisations ont donné lieu à de nombreux cloquages dont la cause est expliquée au § 2.3.2. (couche non imperméable (= liaison) emprisonnée entre deux couches étanches). Nous ne mentionnons donc ce matériau que pour mémoire.

7.2.4. Dalles de béton

Lorsque la couche supérieure du revêtement de chaussée hors pont était réalisée en dalles de béton de ciment (épaisseur ± 200 mm), la pose de celles-ci a parfois été poursuivie sur le pont lui-même. Ce procédé n'est que peu utilisé actuellement. Nous ne le mentionnons que pour mémoire.

Actuellement on expérimente des revêtements dont la couche supérieure est constituée de dalles de béton de fibre d'épaisseur de 140 ou 150 mm.

7.2.5. Traitements à posteriori de la surface des bétons bitumineux

Il est préférable d'obtenir les propriétés antidérapantes requises lors de la réalisation de la couche de roulement (voir § 7.2.2.) plutôt que d'essayer de les restituer par un traitement «a posteriori», qui ne devrait être envisagé que dans le cadre de l'entretien.

Toutefois si un tel traitement s'avère indispensable nous recommandons de se référer au Code de bonne pratique des enduits superficiels (réf. 39).

Nous attirons l'attention sur le comportement défectueux de deux types de traitements utilisés dans le passé. Il s'agit des enduits du type «résineux» et des plaques gaufrées en matériaux plastiques collés sur le revêtement. Nous ne pouvons dès lors recommander l'usage de tels types de traitements de surface sur les revêtements des ponts en béton.

7.3. EXECUTION DE LA COUCHE DE ROULEMENT

7.3.1. Béton armé continu

L'exécution de la couche de roulement en béton armé continu sur ponts est semblable à l'exécution du béton armé continu en dehors des ponts.

Toutefois :

- 1) on vérifiera si le passage des engins de bétonnage et des camions d'approvisionnement est compatible avec la stabilité du pont ;

- 2) avant la pose d'une couche de glissement, le support doit être parfaitement plan afin d'assurer son fonctionnement correct : correction de planéité ou de texture de la couche support, absence de plis ou de surépaisseurs dans les couches de glissement, propreté du support.

La mise en œuvre du béton armé continu ne peut provoquer aucun dégât à la couche de glissement (arrachement par les chenilles ou les coffrages glissants, poinçonnement par les supports d'armatures) ;

- 3) sur au moins 6 à 7 m de part et d'autre des culées et pieds-droits des ponts, l'armature du béton armé continu doit être doublée (posée en 2 nappes de manière à travailler comme armature de flexion). Il est en outre recommandé de renforcer cette armature de flexion en cas de tassements importants prévisibles.

Dans ces cas, on vérifiera la position des nappes d'armature et la compatibilité de la granulométrie du béton avec la densité d'armature ;

- 4) les supports du fil de guidage seront posés et non ancrés afin de ne pas détériorer l'étanchéité de l'ouvrage ;
- 5) l'épaisseur du revêtement sera vérifiée après pose des fils de guidage au droit du passage des coffrages glissants des finisseuses de manière à ne pas détériorer la couche de protection et à ne pas bloquer la finisseuse (risque de dénivellation dans le profil en long) ;
- 6) le béton sera déversé de manière homogène sur l'ouvrage afin de ne pas occasionner de surcharge locale du tablier du pont ;
- 7) les joints de fin de journée seront situés à au-moins, 100 m de part et d'autre du pont.

7.3.2. Béton bitumineux

La fabrication des bétons bitumineux pour couches de roulement sur ponts ainsi que leur mise en œuvre sont semblables aux opérations similaires sur les chaussées hors pont, pour lesquelles il existe des recommandations (réf. 33).

Divers points sont cependant à ne pas perdre de vue lors de l'exécution sur ponts :

- les points a), b), c), d) du § 6.5.3., concernant **la mise en œuvre mécanique, la pose par temps de pluie, le compactage par vibration et le raccordement aux points singuliers**, sont d'application.
- l'existence de **joints** étant toujours propice à une infiltration ultérieure des eaux, on essaiera de les éviter, en travaillant en une seule largeur ou «en parallèle», c'est-à-dire avec deux finisseuses ou plus

travaillant à peu de distance l'une de l'autre (maximum 10 m) ; de toute façon, si joints il y a, ils seront situés en dehors de frayées suivies par les roues des véhicules, et subiront un traitement visant à les rendre étanches ;

- le pose «à vis calée», c'est-à-dire avec une **épaisseur constante**, est la meilleure solution pour les couches de roulement, car elle permet un compactage homogène des enrobés ; mais elle n'est évidemment possible que si la planéité de la couche sous-jacente est satisfaisante ;
- plus encore qu'en section courante (hors pont), il est nécessaire de **raccorder avec soin les enrobés aux accessoires de chaussée et autres points singuliers** ; ces raccordements exigent souvent le remplissage, suivant les règles de l'art, des joints de raccord. Ces derniers doivent en effet être rendus le plus imperméable possible ;
- lorsque l'on place un matériau bitumineux contre un matériau existant, il risque toujours de se créer un décollement permettant à la longue d'importantes pénétrations d'eau. Il est donc souhaitable de prévoir dès l'origine une saignée (profondeur ± 30 mm) à la jonction de deux matériaux, saignée qui doit être scellée à l'aide de matériaux adéquats. Cette saignée peut le cas échéant être réalisée à l'aide d'une fourrure amovible ;
- Pour rappel, (tableau 2.4.) la couche de roulement ne peut être mise en œuvre au plus tôt qu'au moins 1 jour après la pose de la couche sous-jacente.

7.4. CONTROLE DE LA COUCHE DE ROULEMENT

Sauf en ce qui concerne la planéité, tout ce qui a été dit au § 6.5.4. au sujet du contrôle de la couche de liaison, reste valable pour la couche de roulement.

8. ACCESSOIRES DE CHAUSSEE ET DISPOSITIFS DE COLLECTE DES EAUX

Ce chapitre est consacré aux parties des revêtements et du platelage des ouvrages d'art routiers situées en dehors de la chaussée ainsi qu'aux dispositifs de collecte des eaux jusqu'à leur connexion aux tuyaux d'évacuation (qui ne font pas l'objet du présent code).

La figure 8.1. présente les éléments dont il sera question dans ce chapitre. On y ajoutera les joints de dilatation, le raccord entre revêtement du pont et celui de la chaussée adjacente ainsi que les éléments localisés tels que les repères de nivellement, les regards et les boîtiers autour des repères.

Remarques préliminaires :

a) Eléments en béton exposés aux actions directes des sels de déneigement

Dans les paragraphes qui suivent, on rencontrera divers éléments en béton, qui font partie intégrante du support et qui sont exposés aux actions directes des sels de déneigement. (soit absence de protection par un système d'étanchéité, soit risque de rupture de ce système à cause des percements d'ancrage).

Ces éléments doivent alors être exécutés en seconde phase à l'aide d'un béton de qualité accrue – principalement au niveau de la compacité – notamment du point de vue de l'étanchéité et de la résistance aux sels de déneigement.

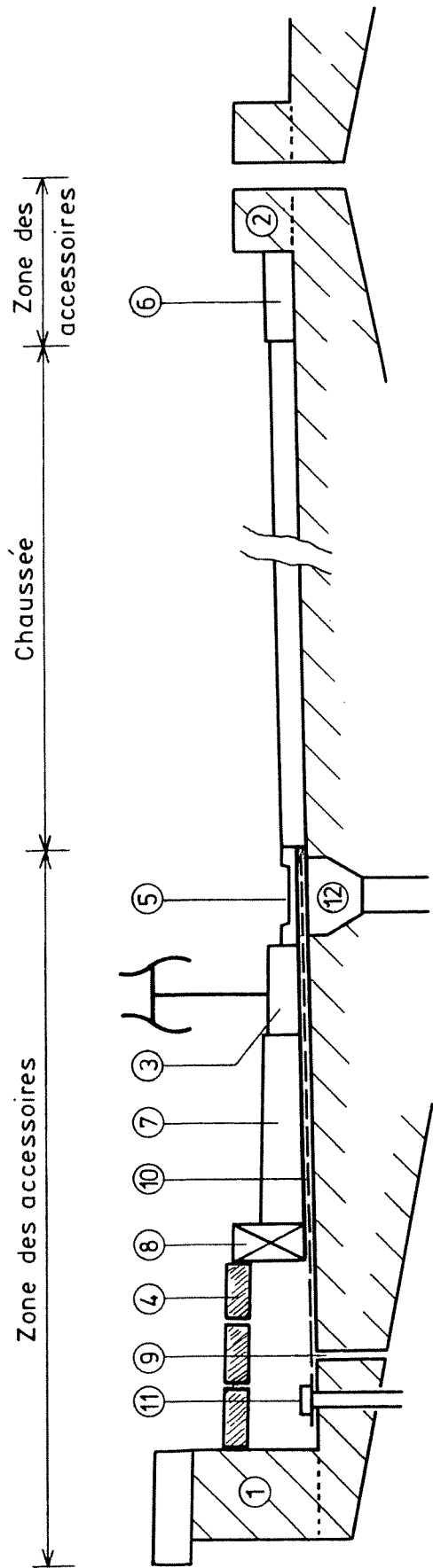
En vue d'obtenir cette qualité accrue, on peut agir au niveau de la formulation (adjuvants éventuels, bétons polymères...) et au niveau de la mise en œuvre (soin particulier, serrage intensif...).

Toutefois, dans l'état actuel des connaissances, outre qu'ils sont fort coûteux, de tels bétons ne sont pas courants et leur comportement à long terme est insuffisamment connu. Il vaut donc mieux limiter leur usage là où pour l'une ou l'autre raison (pas d'autre solution, avantages plus importants que les risques qu'ils présentent) leur emploi s'avère nécessaire (par exemple corniches d'extrémité, abords des joints de dilatation...). Dans une telle solution, l'étanchéité du pont est interrompue et ancrée dans l'élément, suivant un dispositif analogue à celui décrit aux § 4.3.2.5. et § 4.3.3.5..

Lorsque ces éléments ne reçoivent aucune couverture, on peut compléter leur protection vis-à-vis des agents agressifs en les recouvrant d'un complexe résineux mince faisant office d'étanchéité et de revêtement (cf. § 4.3.4.4.).

b) Raccords entre couches supérieures des divers éléments

Un risque de fissuration est toujours réel, au droit du raccord entre deux éléments, principalement s'ils sont constitués de matériaux



Accessoires de chaussée

1. Corniche extérieure
2. Corniche intérieure
3. Socle d'ancrages pour glissières
4. Trottoir
5. Filet d'eau
6. Bande de contrebutage
7. Piste cyclable
8. Bordure et chasse-roues

Dispositifs de collecte des eaux

9. Busette de décompression
10. Drainage
11. Gargouille de drainage
12. Avaloir

Fig. 8.1.

Accessoires de chaussée et évacuation des eaux

Note : La forme et l'emplacement des éléments présentés dans ce schéma de principe sont donnés à titre purement indicatif

différents. Lorsque l'on a opté en surface pour des matériaux étanches, il est souhaitable de prévoir dès l'origine – à la jonction des deux matériaux de la couche supérieure – une saignée (profondeur ± 30 mm) qui sera scellée à l'aide de matériaux adéquats. Cette saignée peut, le cas échéant, être réalisée à l'aide d'une fourrure amovible.

On peut trouver des informations concernant le scellement des joints à la réf. **40**.

c) *Coiffes et profilés*

Le complexe étanchéité-protection doit toujours être recouvert par une autre couche au moins. Dans les parties verticales du support et à ses abords immédiats, on utilise, pour réaliser cette couverture, soit une coiffe (lorsqu'il y a continuité de l'étanchéité), soit un profilé (lorsque l'étanchéité est interrompue).

Divers matériaux peuvent être retenus pour la réalisation de ces coiffes et profilés : zinc, aluminium, acier inoxydable, acier ordinaire traité contre la corrosion, polyester armé... Lorsque cette coiffe ou ce profilé risque d'être attaqué par les sels de déneigement, un traitement spécial contre la corrosion est souhaitable (de préférence une galvanisation à chaud), à moins que l'on ne préfère profiter de sa démontabilité pour le renouveler périodiquement. Le matériau doit posséder une rigidité telle que ses parties latérales restent solidement en place notamment sous l'action du vent. Il doit d'autre part résister à des actions dynamiques légères (chutes d'objets, projection de pierres...).

La coiffe ou le profilé est fixé mécaniquement à l'aide de vis inoxydables placées environ tous les 300 mm.

8.1. CORNICHES EXTERIEURES

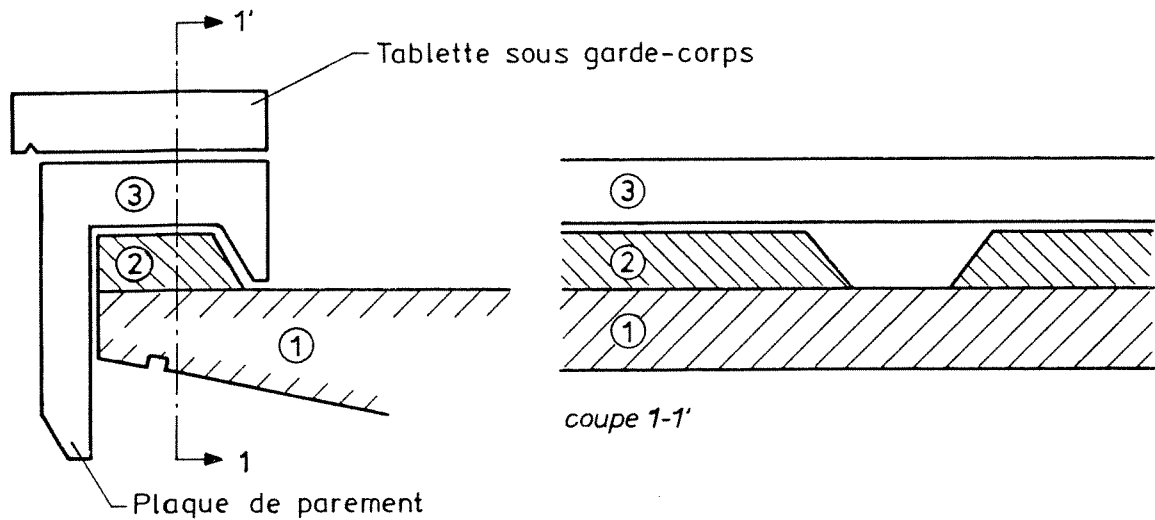
Les corniches extérieures constituent les éléments d'extrémité du profil transversal de la dalle de platelage de l'ouvrage.

Les corniches comprennent un ou plusieurs des éléments suivants : le relevé de corniche, la plaque de parement, son support, et la tablette sous garde-corps (cf. **figure 8.2.**).

La plaque de parement a essentiellement une fonction esthétique (par exemple cacher les différences de hauteur entre poutres).

Outre une éventuelle fonction esthétique, (en cas d'absence de plaque de parement) **les relevés de corniches** permettent :

- la correction du profil en long de la rive de l'ouvrage, et dès lors l'adaptation des niveaux supérieurs des trittoirs et revêtements ;
- la fixation du garde corps (ou glissière de sécurité) et des éventuelles dalles de parement ;



1. Dalle de platelage
2. Relevé de corniche
3. Support de plaque de parement

Fig. 8.2.
Éléments de la corniche extérieure

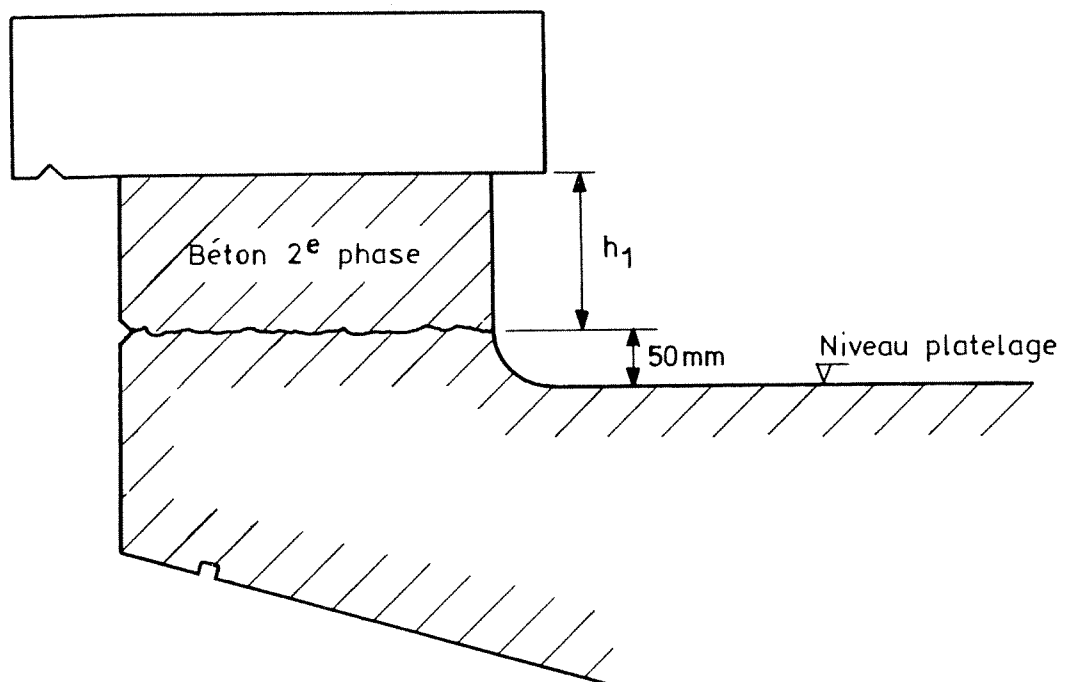


Fig. 8.3.
Relevé de corniche réalisé en deux phases

- le contrebutage des efforts horizontaux transmis par les bordures ou glissières de sécurité intérieures ;
- la fixation de l'extrémité de l'étanchéité.

Nous n'aborderons pas ci-après les aspects propres à la conception et à la pose des **tablettes sous garde-corps**. (pierre bleue). Celles-ci font l'objet de circulaires ministérielles (réf. 41) et de descriptions précises (réf. 1). Compte tenu du rôle de couverture de l'étanchéité qu'elles remplissent, et du percement de celle-ci par les ancrages, il n'est pas inutile de compléter le système général de l'étanchéité par des dispositions à prendre au niveau de la pose des pierres bleues : notamment la mise en place de joints étanches et souples entre celles-ci ainsi que l'étanchement au droit des ancrages (cf. § 4.3.2.5.3. et 4.3.3.5.3.).

8.1.1. Conception et principes

8.1.1.1. Bétonnage en deux phases

Si l'on désire avoir la possibilité de **corriger le profil en long de la rive** de l'ouvrage — ce qui permet une adaptation parallèle des niveaux finis des revêtements et trottoirs —, il est nécessaire de réaliser, du moins partiellement, le relevé de corniche en 2^{ème} phase de bétonnage. On veillera dans ce cas, à soigner particulièrement la liaison du béton coulé en place en 2^{ème} phase, avec le béton préexistant de la dalle de platelage, tant du point de vue mécanique (contrebutage à assurer) que du point de vue esthétique (en cas d'absence de plaque de parement). Les arrondis seront réalisés conformément aux recommandations du § 3.3.4.

En cas de bétonnage en deux phases (**figure 8.3.**), il est souhaitable de bétonner en première phase jusqu'à environ 50 mm au-dessus du niveau du platelage, ce qui permet d'une part une réalisation plus aisée de l'arrondi et d'autre part d'éviter de placer le joint de bétonnage au niveau de la dalle de platelage (point délicat du point de vue stagnation d'eau et des efforts de contrebutage). Il faut toutefois que la hauteur résiduelle à bétonner en 2^{ème} phase (h_1 de la figure 8.3.) soit compatible avec les matériaux à mettre en œuvre.

8.1.1.2. Protection contre les sels de déneigement

La situation existante montre que les relevés de corniches sont le siège de dégradations importantes sous l'effet des agents climatiques et chimiques (eau — gel — sels de déneigement). Les risques de pénétration d'eau, chargée de sels de déneigement, dans le béton du relevé de corniche, sont en effet très élevés étant donné le percement de l'étanchéité par de nombreux ancrages (sauf dispositif E ou F de la

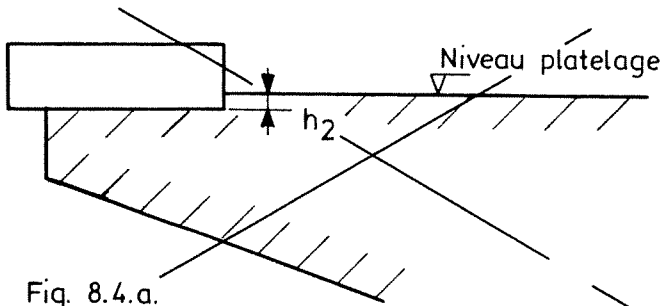


Fig. 8.4.a.

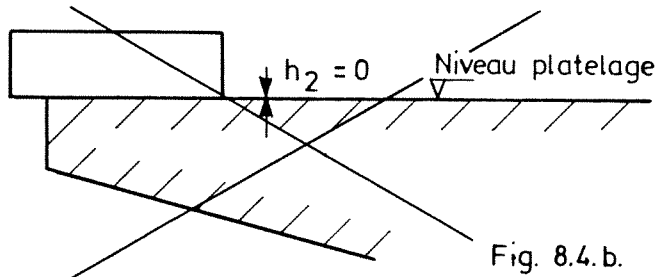


Fig. 8.4.b.

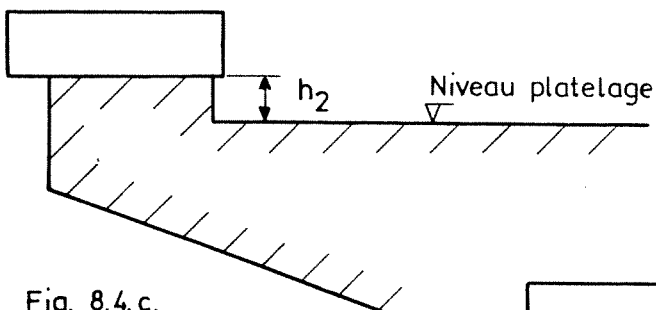


Fig. 8.4.c.

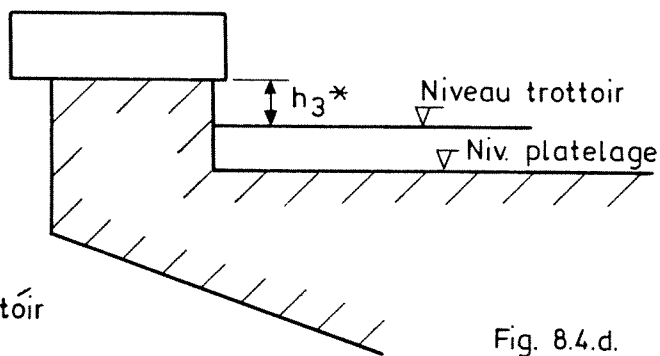


Fig. 8.4.d.

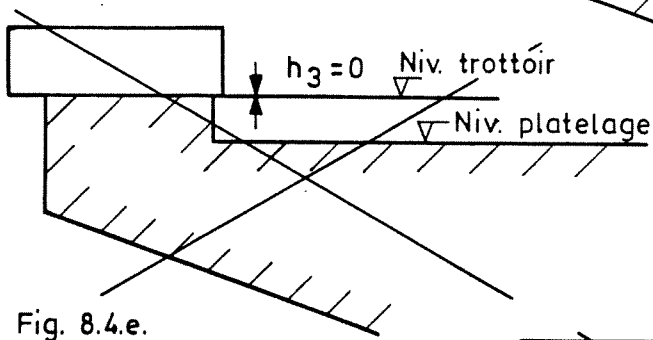


Fig. 8.4.e.

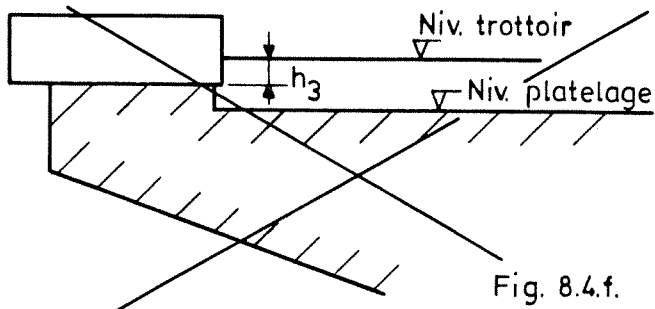


Fig. 8.4.f.

* de préférence $h_3 > 100 \text{ mm}$

Fig. 8.4.
Niveaux de relevé de corniche

figure 8.5.). En vue d'améliorer la situation, il est donc nécessaire soit d'agir sur la qualité du béton (cf. Remarques préliminaires du chapitre 8), soit de rendre plus efficace l'étanchéité de ces relevés, soit — et ce n'est pas superflu — de combiner ces deux moyens d'action. Les dispositions à prendre pour rendre plus efficace l'étanchéité du relevé au droit de percements par les ancrages, sont indiquées aux § 4.3.2.5.3. et 4.3.3.5.3.

Ces principes valent également pour les autres parties de la corniche insuffisamment ou non protégées de l'action des sels de déneigement, qu'elles soient préfabriquées (plaques de parement...) ou coulées en place (séparateur New-Jersey).

8.1.1.3. *Hauteur du relevé*

La hauteur du relevé de corniche est fonction des matériaux utilisés, du niveau du trottoir et de considérations de stabilité (contrebutage...).

La figure 8.4. présente les diverses possibilités de fixer le niveau de relevé de corniche.

Le niveau du relevé de corniche doit toujours être supérieur à celui de la dalle de platelage (solution c). Dans le cas contraire, il est impossible de ramener l'eau vers l'intérieur du pont. Les dispositifs a) et b) sont donc à rejeter.

Pour des raisons d'étanchéité, il est souhaitable que le niveau supérieur du relevé de corniche se situe au-dessus du niveau supérieur du trottoir et de préférence au moins à 100 mm au-dessus de celui-ci (solution d).

Les solutions e) et f) sont donc à rejeter.

8.1.1.4. *Evacuation des eaux*

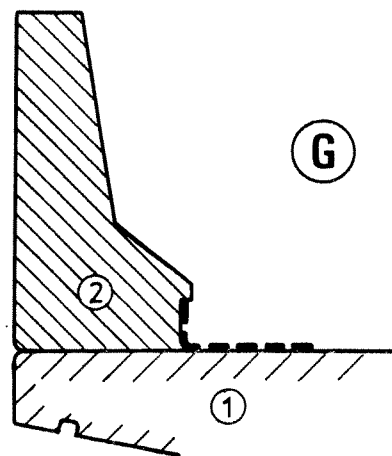
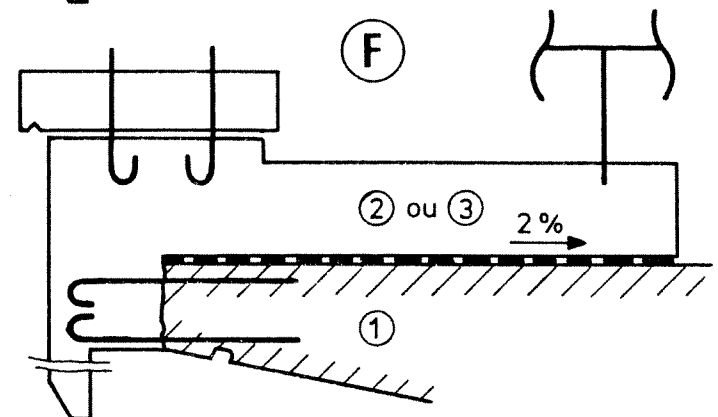
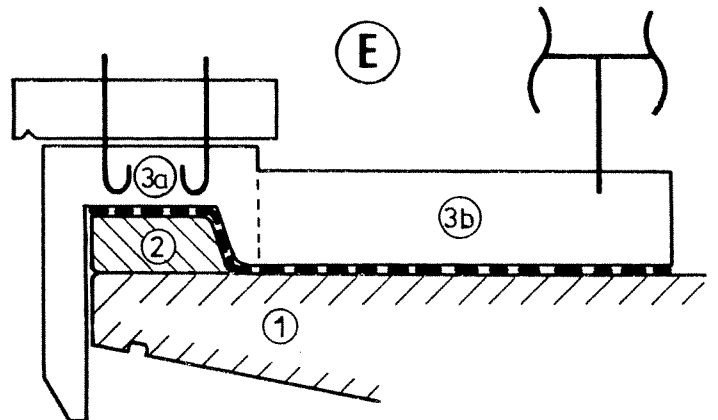
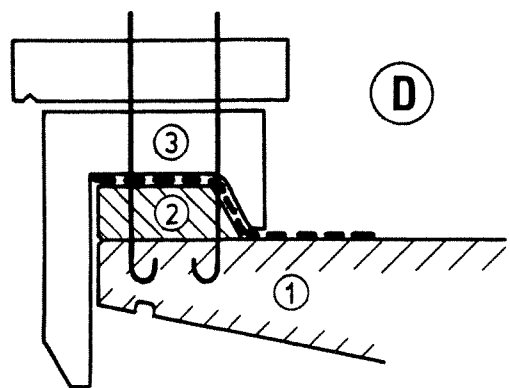
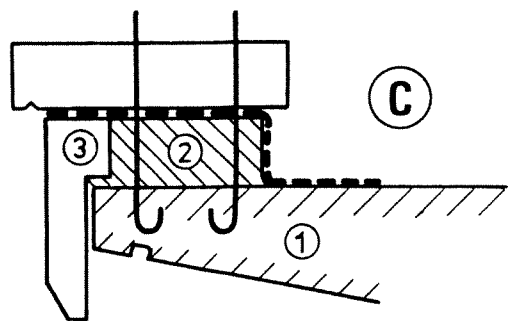
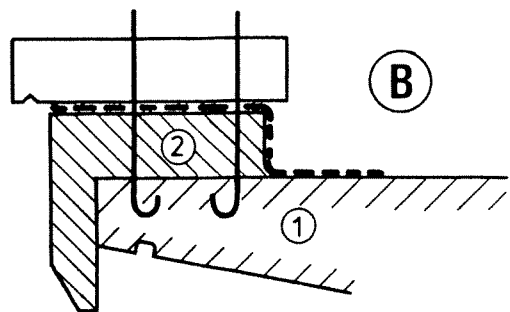
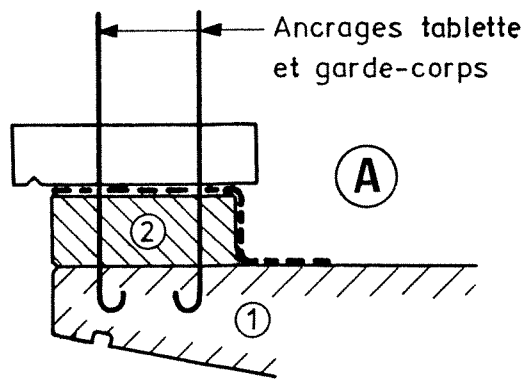
Les relevés de corniche est **normalement** continu et **rejette** dès lors **les eaux** ayant pénétré dans le revêtement **vers l'intérieur** du pont où elles doivent être drainées. **Il est toutefois possible d'assurer l'évacuation de ces eaux vers l'extérieur** du pont en réalisant (par exemple tous les 2 mètres) des encoches dans le relevé, tel que figurées à la coupe 1.1. de la figure 8.2. Cet artifice ne vaut cependant que dans le cas des dispositifs D ou E de la **figure 8.5.** Nous attirons cependant l'attention sur les inconvénients inhérents à cette solution (cf. § 3.1.2.3.).

8.1.2. **Exemples de réalisations**

Il existe une multitude de procédés pour réaliser les corniches extérieures. **Nous avons rassemblé à la figure 8.5. quelques uns des procédés couramment utilisés.** Conformément à la pratique courante en

LEGENDE

- ① Dalle de platelage
- ② Béton coulé en place éventuellement en 2^e phase
- ③ Élément préfabriqué
- ③a et ③b voir texte
- Etanchéité



SOC 15.231/2

Fig. 8.5.

Exemples de corniches extérieures

Note : Les détails des dispositifs A, D, E, G sont dessinés aux Fig. 8.6 à Fig. 8.9

Belgique, la plupart des dispositifs présentés incluent la mise en place d'une tablette sous garde-corps sur le relevé de corniche.

Nous en faisons ci-dessous une courte analyse comparative.

Dispositif A (voir aussi **figure 8.6.**)

L'absence de plaque de parement est de loin le système le plus simple et le plus économique. La confection des faces vues doit dans ce cas être particulièrement soignée.

Dispositif B

La plaque de parement peut être réalisée conjointement avec le relevé de corniche. Cette solution, coulée en place, nécessite un coffrage spécial et un soin particulier à la réalisation de la face visible. (pour les détails, le dispositif se ramène au cas de la figure 8.6.).

Dispositif C

La plaque de parement est préfabriquée. Elle doit être mise à hauteur correcte et maintenue en place provisoirement. Il faut y prévoir des armatures d'attente. Le bétonnage du relevé de corniche rend la plaque de parement solidaire de la dalle de platelage. (pour les détails, le dispositif se ramène au cas de la figure 8.6.).

Dispositif D (voir aussi **figure 8.7.**)

La plaque de parement et son support sont entièrement préfabriqués. Ce support est généralement muni d'un talon, complétant la stabilité de l'ensemble.

Comme **possibilités théoriques**, le dispositif permet l'emploi d'éléments préfabriqués (donc en principe de meilleure qualité) et s'accommode d'une certaine démontabilité (pratique en cas de réparation). Ses **inconvénients intrinsèques** sont cependant **nombreux** :

- même en cas de bonne correspondance de la face externe du relevé de corniche et de la face interne de l'élément préfabriqué, il est impossible de réaliser une bonne liaison entre ces deux éléments. Outre les difficultés de pose, des vides entre ces deux éléments sont inévitables, et les éventuels efforts horizontaux exercés sur les bordures ou glissières intérieures risquent d'être reportés directement sur les ancrages du garde corps, dont la hauteur est du reste plus importante que pour les dispositifs précédents.
- si on opte en outre pour une évacuation des eaux vers l'extérieur (cf. § 8.1.1.4.), il faut rendre le relevé de corniche discontinu. Outre les inconvénients inhérents à ce système d'évacuation des eaux (cf. § 3.1.2.3.), ces discontinuités rendent très difficile la réalisation de l'étanchéité du relevé.

Dispositif E (voir aussi **figure 8.8.**)

Dans ce dispositif, le support de la plaque de parement du dispositif D est prolongé par une dalle de béton constituant à la fois le trottoir (éventuellement filet d'eau) et surtout le socle d'ancrage des glissières de sécurité intérieures.

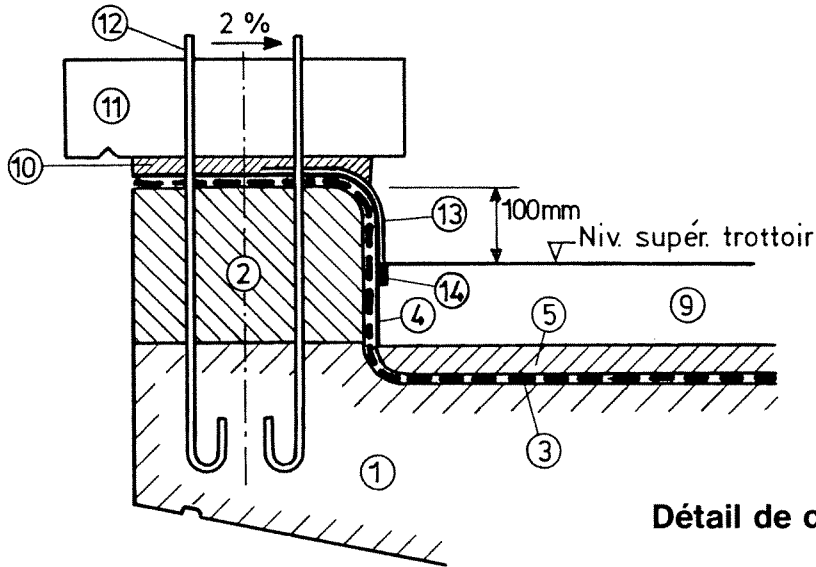


Fig. 8.6.
Détail de corniche extérieure (A)

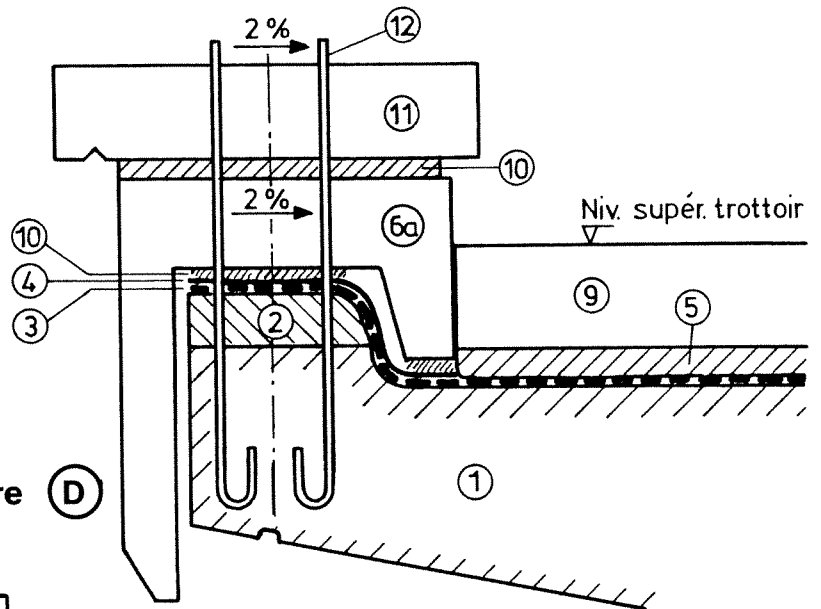


Fig. 8.7.
Détail de corniche extérieure (D)

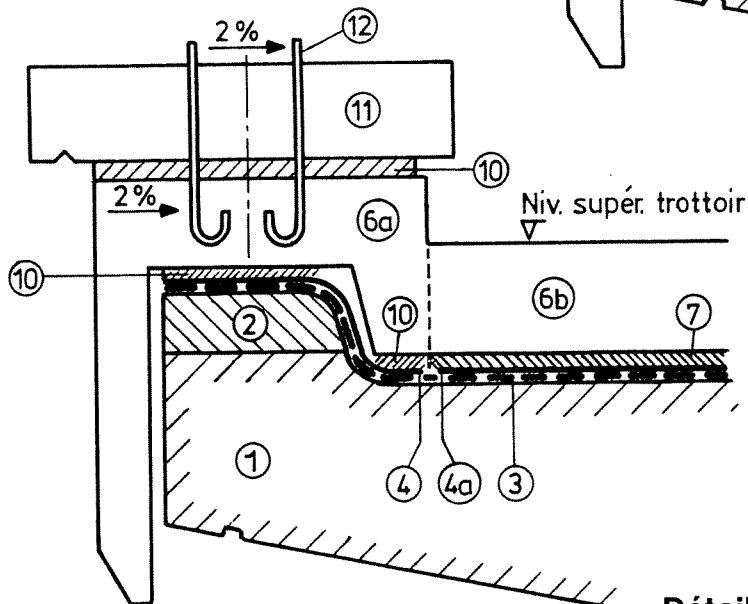


Fig. 8.8.
Détail de corniche extérieure (E)

Note : Les détails concernant l'étanchéité sont décrits aux § 4.3.2.5 et § 4.3.3.5
S0C 15.232/1

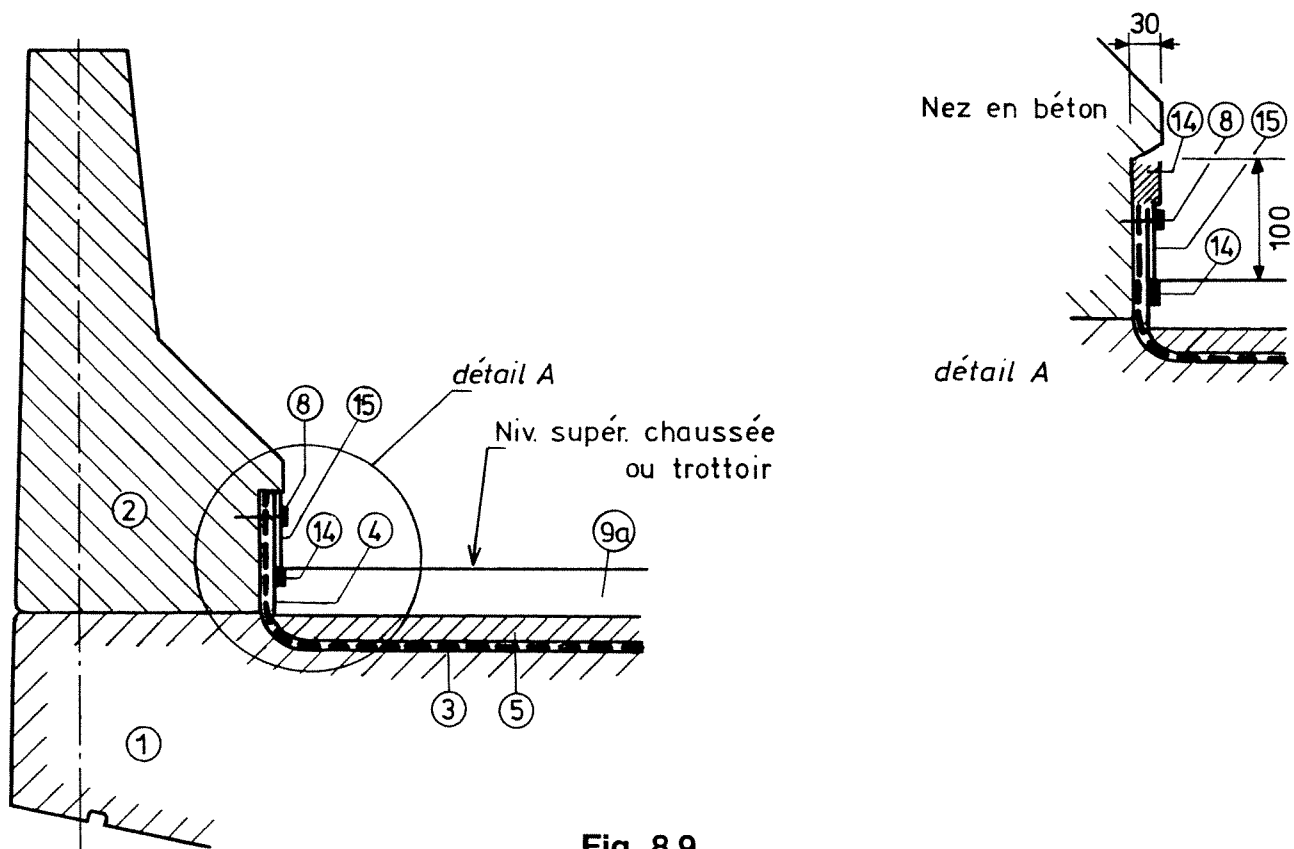


Fig. 8.9.
Détails de corniche extérieure (G)

Légende pour les figures 8.6 à 8.9

1. Béton 1^e phase : support plan
2. Béton 2^e phase
3. Etanchéité
4. Protection spéciale
- 4a. Protection spéciale si 6b est préfabriquée
 Protection ordinaire si 6b est coulé en place } + drainage
5. Protection normale support plan
- 6a. Plaque de parement + support
- 6b. Suite de la corniche préfabriquée ou béton coulé en place
7. Mortier de pose si 6b est préfabriqué
 Nihil si 6b est coulé en place
8. Fixation mécanique
9. Trottoir
- 9a. Chaussée ou trottoir
10. Mortier de pose
11. Tablette sous garde-corps
12. Ancrages du garde-corps
13. Coiffe
14. Masse de scellement
15. Profilé

Note : Les détails concernant l'étanchéité sont décrits aux § 4.3.2.5 et § 4.3.3.5
 SOC 15.233/2

Ce dispositif a le mérite de ne nécessiter aucun percement de l'étanchéité par les ancrages ni des glissières, ni des garde-corps. Ce système ne peut cependant être appliqué que lorsque la stabilité au renversement et au glissement de l'ensemble est vérifiée (cf. § 3.1.2.6.), ce qui en pratique nécessite une largeur suffisante de l'ensemble formé par les accessoires de chaussée (trottoir, socles de glissière, filets d'eau).

Il peut être réalisé soit entièrement en béton coulé en place, soit entièrement en béton préfabriqué, soit encore partiellement en béton préfabriqué (3a) et partiellement en béton coulé en place (3b) (figure 8.5). Dans le cas d'utilisation d'éléments préfabriqués, les inconvénients cités pour le dispositif D subsistent.

Dispositif F

Ce dispositif (inspiré de la réf. 30) **constitue une variante du dispositif E** dans laquelle l'ensemble corniche-trottoir-socle d'ancrage est rendu solidaire de la dalle de platelage, réalisant ainsi la stabilité au renversement et aux efforts horizontaux sans nécessiter un relevé de corniche. Comme pour le dispositif E l'étanchéité ne doit être percée par aucun ancrage.

L'ensemble peut être partiellement ou complètement préfabriqué ou coulé en place.

La liaison corniche-dalle de platelage est assurée par des barres d'attente dans le cas de béton coulé en place et par boulonnage dans le cas d'éléments préfabriqués.

Dans ce dispositif, il est indispensable que l'extrémité de la dalle de platelage soit inclinée vers l'intérieur en vue de ramener les eaux d'infiltration vers un point bas à l'intérieur du pont.

Dispositif G (voir aussi figure 8.9.)

Le relevé est combiné avec un séparateur type «New Jersey». En variante ce dispositif peut être combiné avec les dispositifs B ou C lorsqu'une plaque de parement est nécessaire. Comme pour les plaques de parement, un soin particulier doit être apporté au bétonnage de la face extérieure.

Signalons que dans ce dispositif, l'étanchéité de l'extrémité de la dalle de platelage dépend de l'étanchéité du béton du séparateur. (Voir à ce sujet la remarque préliminaire du chapitre 8). Insistons notamment sur le fait que si le séparateur contient des joints, ceux-ci doivent être scellés d'une manière étanche.

Il y a toujours intérêt à réaliser un nez dans le béton au-dessus du dispositif de fixation de l'extrémité de l'étanchéité. Ce nez protège efficacement l'étanchéité d'éventuelles dégradations lors de la mise en œuvre du revêtement ou ultérieurement lors d'impacts de véhicules.

8.2. CORNICHES INTERIEURES

Les corniches intérieures se différencient des éléments d'extrémités extérieurs du pont par le fait qu'elles ne doivent généralement pas servir à la fixation d'éléments tels que plaque de parement, pierre bleue ou garde-corps. Les corniches devront donc principalement servir à contrebuter le revêtement et à assurer une fixation de l'étanchéité empêchant son contournement pour les eaux d'infiltration. Si malgré leur position à l'intérieur de l'ouvrage, les corniches remplissent d'autres fonctions (Barrières New-Jersey par ex.), on se référera dans ce cas au § 8.1..

En ce qui concerne la conception des corniches intérieures, on s'inspirera de ce qui a été dit pour les corniches extérieures au sujet du bétonnage en deux phases, de la protection contre les sels de déneigement et de la hauteur du relevé (§ 8.1.1.).

La figure 8.10. présente quelques schémas de principe de ces corniches intérieures ; la forme des relevés n'y a aucune importance et ceux-ci peuvent le cas échéant servir à l'ancrage de l'un ou l'autre dispositif de sécurité.

Dans les **schémas a) et b)**, le complexe étanchéité-protection est revêtu par une coiffe fixée mécaniquement au support. Dans le cas de deux corniches accolées (schéma b)), la coiffe n'est fixée que sur l'une des deux corniches, et doit être réalisée à l'aide d'un matériau souple, lorsque des tassements différentiels sont à craindre.

Le schéma c) ne s'applique qu'au cas où l'étanchéité elle-même est du type asphalte coulé. Le recouvrement de la corniche est alors assuré par un bicouche (épaisseur totale 15 mm) d'asphalte coulé qui joue le triple rôle d'étanchéité, de protection et de couche supérieure du revêtement. Ce procédé est décrit au § 4.3.2.5.1. Rappelons que ce système ne peut être utilisé que lorsque l'angle support-relevé est droit (ni chanfrein, ni arrondi).

Dans le **schéma d)**, l'étanchéité courante du pont est complétée par un béton étanche et résistant aux sels de déneigement qui assure la continuité de l'étanchéité principale. L'efficacité d'un tel dispositif dépend donc essentiellement des qualités d'étanchéité d'un tel béton. On se référera à ce sujet à la remarque préliminaire au présent chapitre. La fixation de l'étanchéité se fait conformément au § 4.3.2.5.1. ou 4.3.3.5.1.. Insistons sur la nécessité de prévoir un nez de protection (cf. § 8.1.2. dispositif G).

Le **schéma e)**, est particulier au cas d'extrémités intérieures jointives de deux ponts de forte rigidité, non circulés à cet endroit. Ce dispositif permet la pose en continu des diverses couches de revêtement. Il nécessite cependant de prendre les dispositions suivantes :

- réaliser l'étanchéité suivant ce qui est décrit au § 4.3.2.5.4. et 4.3.3.5.4.

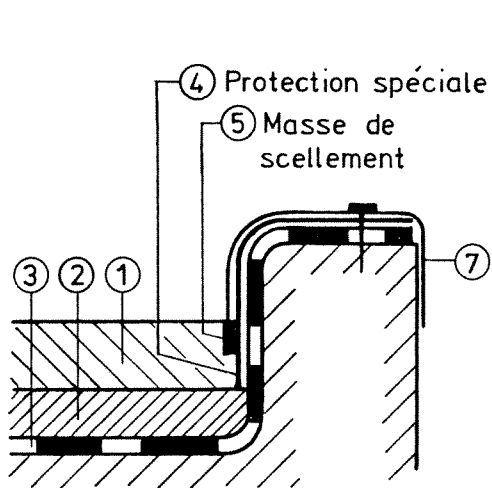


Fig. 8.10.a

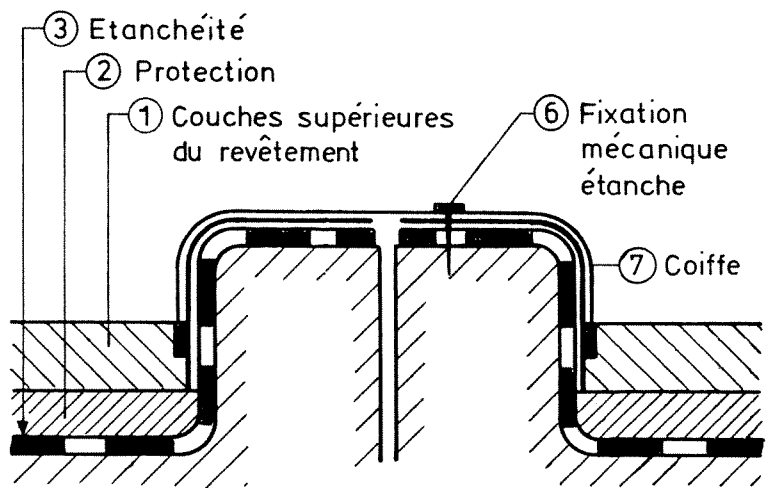


Fig. 8.10.b

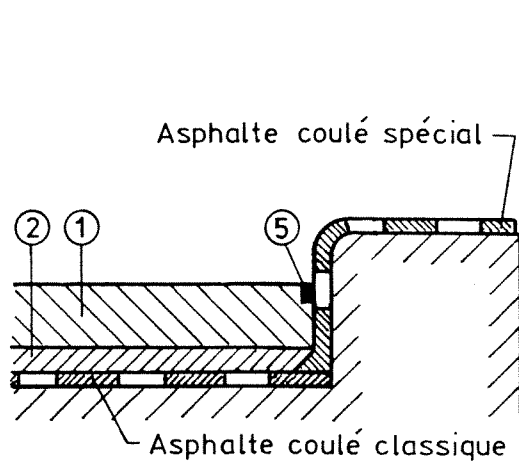


Fig. 8.10.c

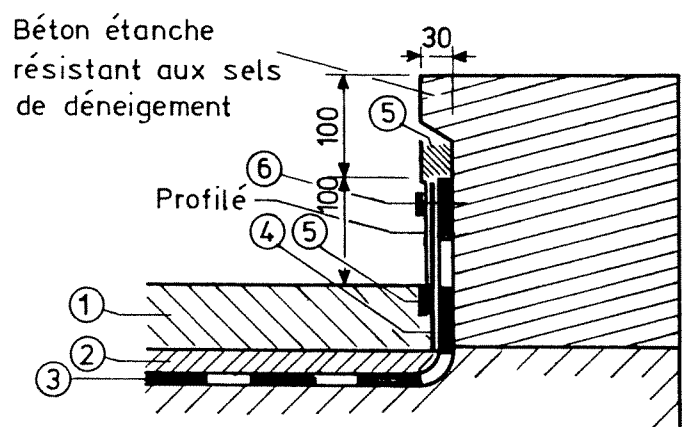
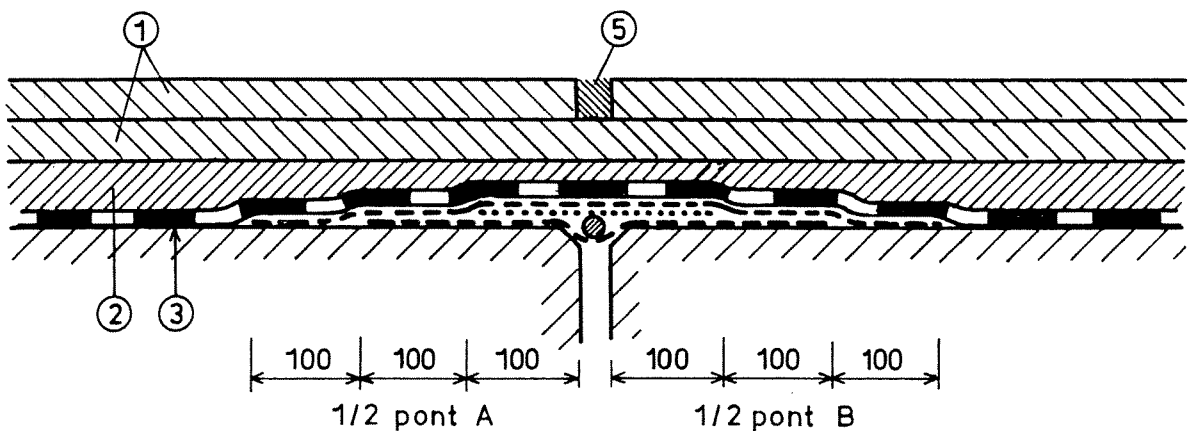


Fig. 8.10.d



- Légende**
- étanchéité spéciale
 - non adhérence
 - ⊙ profil de remplissage

Fig. 8.10.e

Fig. 8.10.
Corniches intérieures : schémas de principe

Note : Les détails concernant l'étanchéité sont décrits aux § 4.3.2.5 et § 4.3.3.5
SOC 15.234/2

- scier et sceller les couches supérieures au droit de la discontinuité. La profondeur de sciage peut être fixée à 30 - 40% de l'épaisseur totale du revêtement.

8.3. LES SOCLES D'ANCRAGE DES GLISSIÈRES DE SÉCURITÉ

Les socles servent essentiellement à ancrer les glissières de sécurité intérieures du pont. Les socles peuvent aussi faire corps avec les barrières de sécurité elles-mêmes, c'est le cas des barrières «New Jersey».

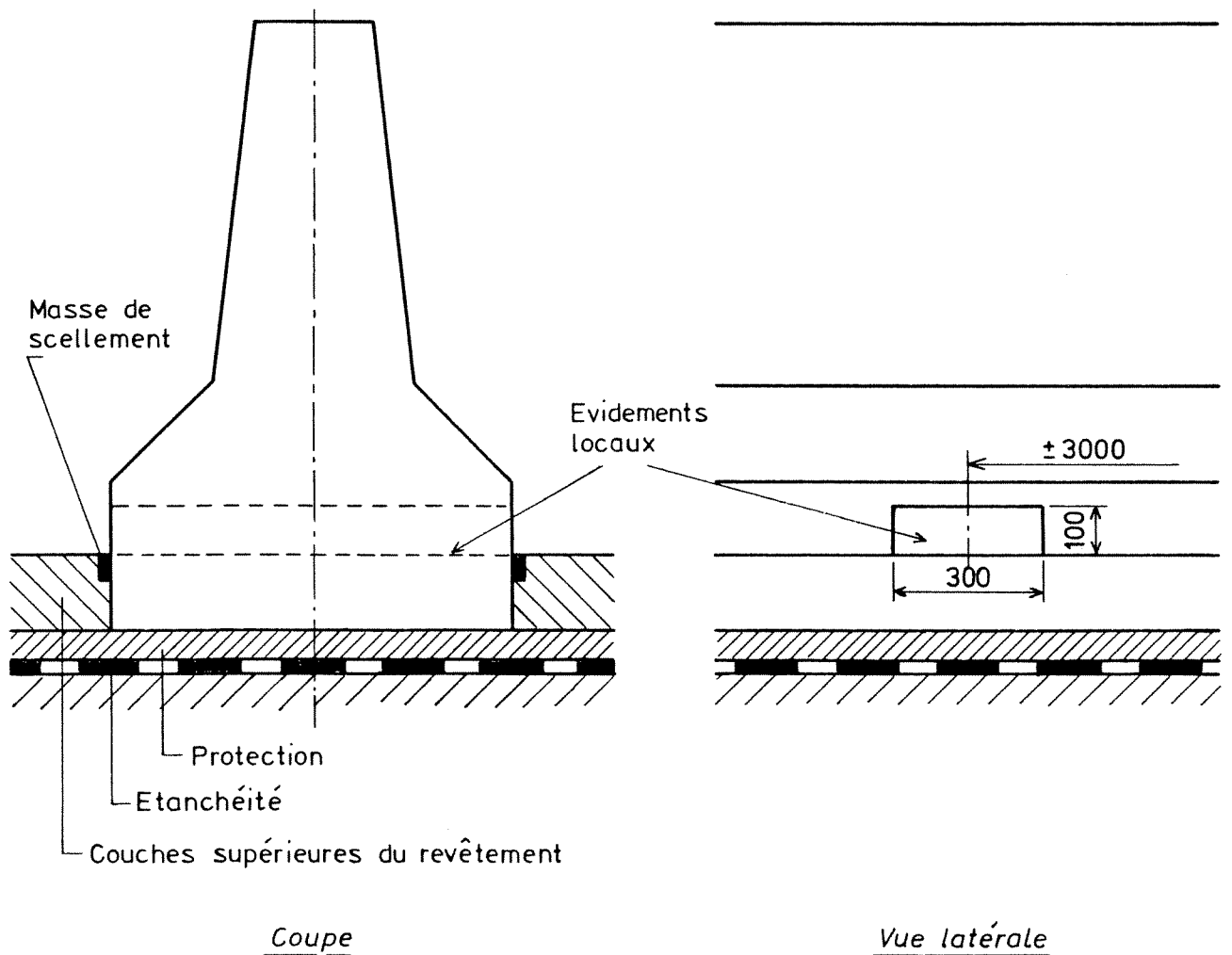
8.3.1. Principes

- Lorsqu'il est possible de **ne pas rendre les blocs d'ancrage solidaires de la dalle de platelage**, c'est cette solution qui est préférable car elle ne nécessite pas l'interruption de l'étanchéité, les blocs d'ancrage étant posés librement sur l'étanchéité munie de sa protection.

Cette solution n'est cependant acceptable que lorsque l'équilibre au renversement de l'ensemble socle-glissière est assuré en cas d'impact de véhicules (voir à sujet le § 3.1.2.6.). Dans la pratique, ceci ne peut généralement être obtenu que dans le cas des barrières «New Jersey» (**figure 8.11.**) et au cas où le socle d'ancrage est intégré à l'un ou l'autre élément adjacent par exemple la corniche, le trottoir ou le béton armé continu. On trouvera l'illustration de certains de ces exemples au § 8.1.2. (dispositifs E et F) et au § 8.4.2.1.D.

Lorsque l'équilibre au renversement de l'ensemble socle-glissière ne peut être assuré par lui-même et que pour des raisons de sécurité, toute possibilité de renversement est à proscrire (par ex. danger de chute du socle sur la voirie passant sous le pont), le socle doit être rendu solidaire de l'ancrage et l'étanchéité doit être sinon interrompue du moins percée.

- Chaque fois que cela est possible, on préférera les **socles continus** sur toute la longueur de l'ouvrage, aux éléments discontinus localisés. En effet, les éléments continus permettent l'obtention d'un béton de meilleure qualité et rendent plus facile le raccordement des diverses couches du revêtement notamment celui de l'étanchéité.
- Lorsqu'on utilise des **éléments préfabriqués** (cas des socles non solidaires de la superstructure), il est préférable d'utiliser des éléments de grande dimension (3 à 4 m) et de prévoir des dispositifs de transfert de charge (emboîtement, goujon) en vue d'augmenter la rigidité d'ensemble.



SOC 15.235/1

Fig. 8.11.
**Exemple de socle ne nécessitant ni percement
 ni interruption de l'étanchéité**

- Si le socle forme obstacle au libre **écoulement des eaux de surface**, le socle doit être abaissé localement de façon à permettre l'écoulement des eaux vers le filet d'eau. Dans le cas des barrières «New Jersey», il y a lieu de prévoir des évidements locaux tels que dessinés à la figure 8.11. Il convient de les nettoyer très régulièrement.
- Dans le cas de **socles solidaires du support** on s'inspirera également de ce qui a été dit pour les corniches extérieures (§ 8.1.1.) au sujet du bétonnage en deux phases et de la protection contre les sels de déneigement.

8.3.2. Exemples de réalisation

La figure 8.11. donne un exemple de socle ne nécessitant ni percement ni interruption de l'étanchéité. On en trouve d'autres exemples

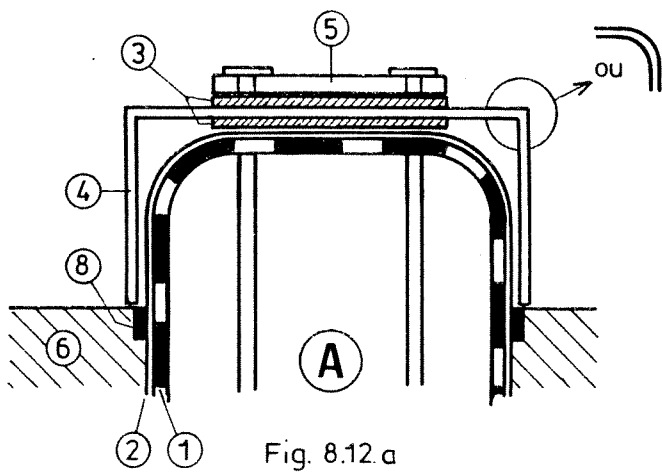


Fig. 8.12.a

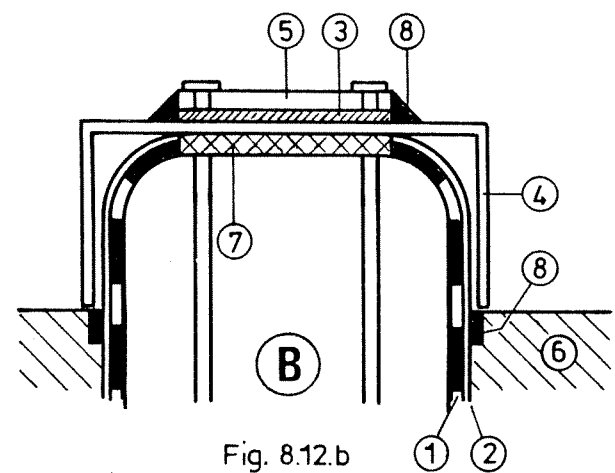


Fig. 8.12.b

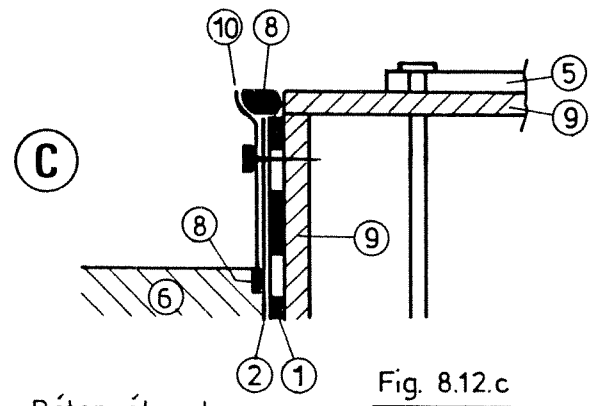


Fig. 8.12.c

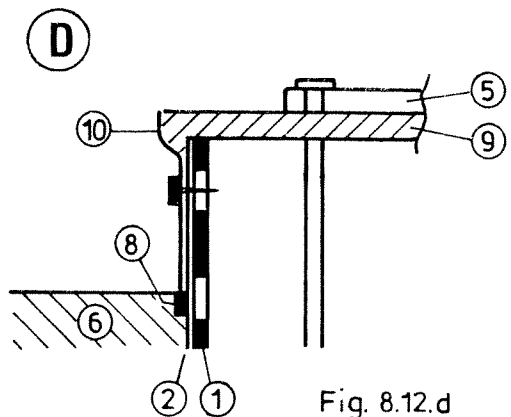


Fig. 8.12.d

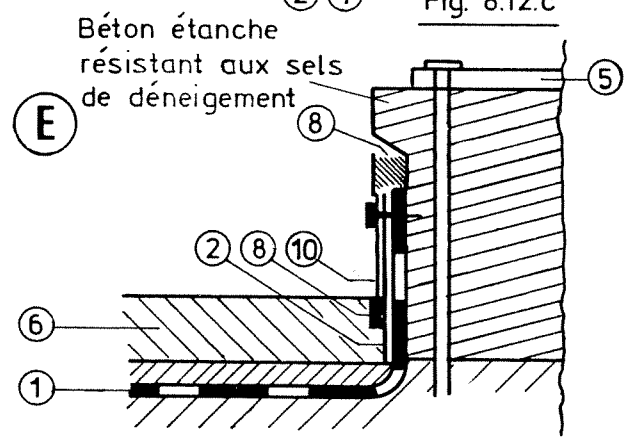


Fig. 8.12.e

Légende

- | | |
|-----------------------------------|--|
| 1. Feuille d'étanchéité | 6. Revêtement adjacent |
| 2. Feuille de protection | 7. Bourrage en mortier, résine ou néoprène |
| 3. Néoprène | 8. Masse de scellement |
| 4. Coiffe | 9. Coulis ou mortier résineux étanche |
| 5. Plaque de base de la glissière | 10. Profilé |

Fig. 8.12.
Socles d'ancrage solidaires de la dalle de platelage

SOC 15.236/2

aux dispositifs E et F de la figure 8.5. La **figure 8.12.** donne une série d'exemples de réalisation de la continuité de l'étanchéité au droit de socles solidaires de la dalle de platelage. Nous les commentons comme suit :

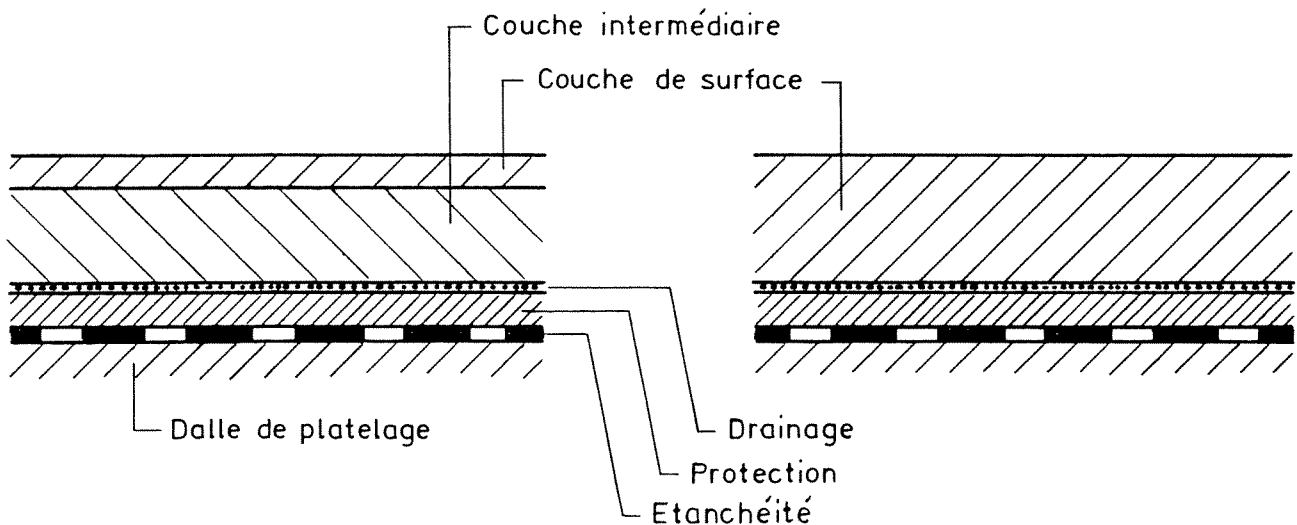
- Le **dispositif A** ne peut être envisagé que si l'on est certain que ni l'étanchéité ni sa protection ne flueront sous l'effet de la tension de serrage des boulons de la plaque d'ancrage. Pour plus de détail concernant le percement de l'étanchéité, voir § 4.3.2.5.3. ou 4.3.3.5.3.
- Dans le **dispositif B** l'étanchéité et sa protection sont découpées lors de la pose de la plaque d'ancrage. Le bourrage sert à la mise à niveau de celle-ci. L'étanchéité est assurée par la continuité de la coiffe et la masse de scellement.
- La faisabilité des **dispositifs C et D** dépend de la compatibilité des feuilles d'étanchéité avec le coulis résineux. Son efficacité dépend des qualités d'étanchéité du coulis.
- L'efficacité du **dispositif E** dépend des qualités d'étanchéité du béton utilisé pour la réalisation du socle. On se référera à ce sujet à la remarque préliminaire au présent chapitre. La fixation de l'étanchéité se fait conformément aux § 4.3.2.5.1. ou 4.3.3.5.1.. Insistons sur la nécessité de prévoir un nez de protection (cf. § 8.1.2. dispositif G).

8.4. LES TROTTOIRS

Les trottoirs d'un ouvrage d'art sont les parties du pont comprises entre les corniches et la chaussée ou entre deux parties de la chaussée (berme centrale), et qui ne sont ni filets d'eau ou bandes de contre-buttagage, ni socles d'ancrage, bordures ou pistes cyclables. Considérés comme tels, les trottoirs servent soit au passage public pour les piétons, soit de passage de service pour le personnel d'entretien.

Les revêtements de trottoirs se composent (cf. **figure 8.13.**) d'une étanchéité, d'une protection, d'une éventuelle couche de drainage, d'une éventuelle couche intermédiaire (qui sert entr'autres au reprofilage) et d'une couche de surface.

L'étanchéité et sa protection font l'objet des chapitres 4 et 5. Nous ne reprenons ci-dessous que les parties spécifiques au revêtement du trottoir, à savoir la couche de surface ainsi que les éventuelles couches intermédiaires et de drainage.



SOC. 15.261/1

Fig. 8.13.
Coupes type d'un trottoir

8.4.1. Principes

8.4.1.1. Objectifs

Les objectifs principaux des trottoirs sont de :

- résister aux charges verticales qui leur sont transmises (piétons + occasionnellement une roue de véhicule) ;
- assurer éventuellement le transfert des charges exercées sur les socles d'ancrage ou sur les bordures vers les corniches (voir par ex. figure 8.5.E) ;
- permettre éventuellement l'installation en son sein de gaines pour câbles ou de tuyauteries.

8.4.1.2. Inclinaison

La face supérieure du trottoir devrait toujours être inclinée de 2% vers le filet d'eau. Il en résulte que, si le tablier n'a pas la même inclinaison à cet endroit, un reprofilage est nécessaire dans le trottoir.

8.4.1.3. Niveaux

Le niveau supérieur du trottoir sera fixé au niveau minimal compatible avec :

- le niveau du filet d'eau, que le trottoir surplombe d'au moins 30 mm ;

- le niveau des autres éléments adjacents (socles) situés à l'aval, que le trottoir surplombe au moins de 10 mm ;
- la nécessité ou non d'installer des gaines et canalisations.

8.4.1.4. *Joints longitudinaux*

Lorsque les matériaux du revêtement de trottoir sont différents de ceux des éléments adjacents, il est recommandé de ménager une saignée à la jonction de ces revêtements, car il y a toujours un risque de décollement. Cette saignée (profondeur environ 30 mm) sera scellée à l'aide d'une masse de scellement.

8.4.1.5. *Conception du revêtement du trottoir en vue de faciliter l'évacuation des eaux*

Il y a toujours intérêt à réaliser une couche supérieure la plus étanche possible (matériaux étanches, absence de joints) en vue de réduire les infiltrations d'eau.

Lorsqu'une couche intermédiaire est nécessaire, il est recommandé qu'elle soit réalisée en matériaux drainants.* Ceci implique cependant qu'un exutoire soit prévu pour les eaux de drainage. En effet, les matériaux non drainants (et les matériaux drainants en l'absence d'exutoire) restent gorgés d'eau et risquent de subir rapidement des dégâts (desenrobage, action du gel).

On peut également songer — a contrario — à utiliser des matériaux drainants à la fois pour les couches intermédiaires et de surface. L'expérience avec de tels types de revêtements est cependant trop récente que pour pouvoir les conseiller. Signalons toutefois que la couche supérieure de ce revêtement risque de se colmater très rapidement et favorise le développement de la végétation.

Quel que soit le type de matériaux adopté pour le revêtement (compte tenu du risque de pénétration d'eau dans le revêtement : couche supérieure non étanche, joints défectueux...), il est toujours souhaitable de placer un dispositif de drainage (cf. § 8.10.2.) à l'interface entre la protection et la couche qui la surmonte. Ce dispositif est en général compatible avec le type de matériaux utilisés pour les couches supérieures du revêtement de trottoir (les exceptions seront indiquées ci-dessous). Ce drainage ne peut évidemment être préconisé que s'il lui est prévu un exutoire (cf. § 8.11).

* coefficient de perméabilité $\geq 0,1$ mm/s.

8.4.2. Les matériaux

Le choix de l'un ou l'autre ensemble de matériaux dépend de divers facteurs tels : la hauteur et la largeur du trottoir, la nécessité d'assurer un transfert des charges ou d'aménager un espace pour les gaines et conduites, et des considérations économiques (il est souvent plus avantageux d'utiliser un matériau déjà employé ailleurs dans l'entreprise).

8.4.2.1. *Matériaux pour la couche supérieure*

Nous présentons ci-dessous une courte analyse comparative de divers matériaux qui peuvent être utilisés pour la couche supérieure des trottoirs.

A. Les dalles en béton 300 x 300

C'est la solution classique. Elle présente l'avantage d'une certaine démontabilité mais ne permet aucun reprofilage (nécessite donc dans ce cas une couche intermédiaire) et constitue une surface particulièrement peu imperméable par suite de ses nombreux joints. Les dalles sont posées à plein bain de mortier ou sur un lit de sable-ciment. Lorsque les dalles sont posées côte à côte, il est recommandé de réaliser des joints (à sceller à l'aide d'une masse de scellement) environ tous les 5 m dans le sens axial du pont. Une autre solution consiste à prévoir un espace environ 10 mm entre chaque dalle, en vue d'un rejointoyage ultérieur à l'aide d'un mortier bâtard.

B. L'asphalte coulé

C'est un revêtement imperméable, mais il ne peut se poser qu'en couches d'épaisseur constante comprise entre 25 et 35 mm (tolérance ± 5 mm). Lorsque des épaisseurs de plus de 70 mm ou un reprofilage doivent être réalisés, une couche intermédiaire est indispensable. Pour diminuer les risques de cloquage, il est nécessaire de poser la couche inférieure de l'asphalte coulé sur un voile de verre, sauf si la couche sous-jacente est elle-même un asphalte coulé. Dans ce dernier cas, il n'est en outre pas concevable de placer un géotextile de drainage. On se référera au § 4.3.2.1. et notamment au tableau 4.3., en ce qui concerne la fabrication et le transport, au § 4.3.2.3. pour les conditions climatiques et l'état du support et au § 4.3.2.4. pour la pose, sauf en ce qui concerne les joints pour lesquels on consultera le § 5.4.1. La nécessité de prévoir des joints actifs est à étudier en fonction des dimensions du trottoir.

C. Les bétons bitumineux

Dans le cas où le trottoir n'est séparé de la chaussée par aucun accessoire de la chaussée (socle, filet d'eau, bordure, bande de

contrebutage) et que le support est au même niveau que celui de la chaussée, les couches bitumineuses de la chaussée situées au-dessus de la couche de protection peuvent être prolongées au droit du trottoir, celui-ci étant alors matérialisé à l'aide de marquages. Cette solution est la plus simple mais n'est pas compatible avec la pose d'un dispositif de drainage interposé entre la protection et les couches supérieures de revêtement.

Dans le cas où il n'est pas possible de réaliser le revêtement du trottoir en même temps que celui de la chaussée (présence d'obstacles...), on veillera à réaliser une couche supérieure la plus fermée possible. A cet effet, on choisira de préférence des bétons bitumineux fins (par exemple type IV ou II non grenailé du C.C.T. 150) (réf. 4). L'épaisseur de la couche est fonction du type de formulation choisie (en général de 30 à 50 mm). Ce type de couche supérieure nécessite toujours une couche intermédiaire et ne peut jamais être posée directement sur un géotextile de drainage. Lorsque la situation du trottoir le permet (largeur de l'espace disponible), on optera pour une mise en œuvre mécanique et un compactage à l'aide d'engins lourds, ce qui présente une meilleure garantie du point de vue des caractéristiques mécaniques obtenues. Signalons à ce sujet qu'il existe des finisseuses de largeur réduite ou du type «déporté» qui conviennent particulièrement pour ce genre de travail. Lorsque l'exiguité de l'espace disponible ou la présence d'obstacles le nécessite, la mise en œuvre se fera manuellement et le compactage, à l'aide de petits engins. La compacité obtenue avec un tel mode de mise en œuvre risque cependant d'être médiocre.

Il convient dans tous les cas de s'assurer que les engins de mise en œuvre sont compatibles avec les charges admissibles au niveau du trottoir.

D. Le béton de ciment (type routier)

Le béton de ciment est de type routier (résistance aux sels de déneigement). La dalle de béton constitue soit un élément indépendant propre au trottoir, soit le prolongement d'un élément adjacent tel le filet d'eau, la bande de contrebutage ou un socle d'ancrage ou encore fait partie intégrante de la corniche (cf. figure 8.5.E ou F). Dans le cas où les socles d'ancrage des glissières de sécurité peuvent être intégrés au béton du trottoir, on peut éviter de percer l'étanchéité par ces ancrages, pour autant que la stabilité au renversement de l'ensemble trottoir-socle puisse être vérifiée (cf. § 8.3.1. et 3.1.2.6.).

Le béton sera armé dans le cas où il est soumis à des efforts de flexion ou de traction. Des joints, à sceller, doivent être prévus comme dans le filet d'eau et les bandes de contrebutage.

Quand le béton est coulé en place sur un support susceptible de favoriser l'évacuation de l'eau du béton lors de sa mise en place, il faut

prendre les mesures nécessaires pour éviter la perte de laitance conduisant à une porosité trop grande et donc à une moindre résistance du béton. A cet effet, on peut par exemple interposer une feuille de polyéthylène entre le béton et son support.

Cette feuille doit être perforée lorsqu'un géotextile de drainage est prévu sur le support.

L'épaisseur de la dalle est généralement comprise entre 150 et 250 mm et permet le reprofilage et l'insertion de gaines et conduites.

E. Le béton drainant

Il existe des formulations de bétons drainants (éventuellement à base d'agrégats légers) qui peuvent servir à la fois pour les couches intermédiaires et de surface de trottoir. Ils permettent de combler des épaisseurs variant entre 70 et 250 mm et d'y inclure le cas échéant des gaines et conduites. Rappelons que (§ 8.4.1.5.) ce type de matériau doit être considéré comme expérimental. Il convient notamment d'en vérifier la résistance à long terme aux sels de déneigement.

F. Le caniveau (**figure 8.14.**)

Lorsque de nombreuses gaines ou conduites doivent être intégrées au trottoir ou que celles-ci doivent pouvoir rester accessibles, le caniveau fournit une solution possible.

La base du caniveau peut être coulée en place (éventuellement sur un film de polyéthylène : voir D ci-dessus) ou préfabriquée. Elle est généralement posée sur la chape de protection (ne nécessite donc pas de couche intermédiaire) et intercalée entre deux éléments linéaires du pont (corniche et socle par exemple).

Les parois du caniveau permettent de faire varier les niveaux du couvercle. La fixation du couvercle du caniveau, à sa base, est généralement délicate. On peut y remédier en prévoyant un appui souple du couvercle sur sa base et une fixation par serrage évitant son ballonnement.

Le couvercle n'étant pas étanche, il est indispensable de prévoir l'évacuation des eaux d'infiltration généralement par des raccordements vers le système général de collecte des eaux de l'ouvrage.

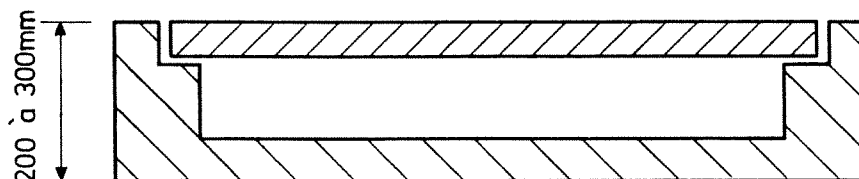


Fig. 8.14.
Schéma de principe du caniveau

8.4.2.2. *Matériaux pour la couche intermédiaire*

Le béton de ciment «type routier», le caniveau et le béton drainant assurent généralement à la fois le rôle de revêtement et de couche intermédiaire. Ils servent donc à combler la totalité de l'espace compris entre le niveau supérieur du trottoir et la couche de protection (reprofilage compris) pour autant que les limites d'épaisseur pour chacun des matériaux soient respectées.

Par contre pour les dalles de trottoir, l'asphalte coulé et le béton bitumineux si les épaisseurs à combler sont plus importantes que celles indiquées au § 8.4.2.1., ou s'il y a un reprofilage à réaliser, une couche intermédiaire est indispensable.

On utilisera dans ce cas, suivant les épaisseurs à mettre en œuvre et les exigences mécaniques requises, l'un des matériaux suivants : sable stabilisé au ciment, béton drainant, enrobé bitumineux drainant.

On veillera à rendre le sable stabilisé le plus drainant possible en utilisant à cet effet, du sable gros. Il ne peut cependant servir de fondation ni à l'asphalte coulé, ni au béton bitumineux.

L'utilisation de ces matériaux drainants implique que soit prévu un exutoire pour les eaux qu'ils drainent (cf. § 8.10 et 8.11).

8.5. **LES FILETS D'EAU**

8.5.1. **Dimensions et implantation**

Le choix des dimensions des filets d'eau est fixé par des considérations hydrauliques, mais peut également être influencé par les dimensions des avaloirs disponibles sur le marché. Leur encombrement peut influencer l'implantation précise du filet d'eau (par exemple : distance minimale par rapport à une bordure).

8.5.2. **Structure**

Au droit du filet d'eau, la coupe type de la structure comprend dans l'ordre les éléments suivants :

- le support au même niveau que celui de la chaussée adjacente ;
- l'étanchéité munie de sa protection ;
- une éventuelle couche de drainage ;
- une éventuelle couche intermédiaire ;
- la couche supérieure formant le filet d'eau.

L'étanchéité et sa protection font l'objet des chapitres 4 et 5. Nous ne reprenons ci-dessous que les parties spécifiques au filet d'eau, à savoir la couche supérieure et les éventuelles couches intermédiaires et de drainage.

8.5.3. La couche supérieure du filet d'eau

Plus que pour tout autre élément du revêtement, il convient ici d'éviter au maximum la pénétration d'eau au sein de la structure du filet d'eau. On optera donc pour un **matériau de surface étanche**. On choisira en général l'asphalte coulé. Mais le béton routier et le béton bitumineux peuvent également être utilisés dans des cas spécifiques. Nous ne citerons que pour mémoire les pavés en béton, les blocs asphaltiques et les dalles 300 x 300 qui du fait de leurs nombreux joints ne sont pas à conseiller sur un ouvrage d'art.

Ci-dessous une courte analyse comparative de ces diverses solutions :

A. Asphalte coulé

C'est le matériau le plus étanche pour filet d'eau, il empêche toute pénétration de l'eau de ruissellement dans les couches inférieures du revêtement.

Par contre, l'asphalte coulé ne permet que des **reprofilages limités**. Il se pose en une ou plusieurs couches d'épaisseur constante. L'épaisseur individuelle de chaque couche est supérieure ou égale à 20 mm, l'épaisseur totale de l'ensemble des couches est supérieure ou égale à 30 mm. Si la couche inférieure est posée sur un autre matériau que l'asphalte coulé, il est nécessaire de la poser sur un voile de verre en vue de diminuer le danger de cloquage.

Compte tenu de la température (210 à 240°C) (cf. tableau 4.3.) à laquelle est posé l'asphalte coulé, il convient de **vérifier sa compatibilité avec tous les matériaux adjacents** (protection ou drainage).

Afin de juguler la fissuration qui risque d'apparaître entre le filet d'eau et l'élément adjacent par suite du retrait de l'asphalte coulé, il est recommandé de munir le filet d'eau de **talons** coulés en 2^e phase (cf. **figure 8.15**). Ces talons permettent en outre de rattraper certaines différences de niveau entre le revêtement adjacent et le filet d'eau et peuvent être très utiles pour empêcher les infiltrations d'eau dans les joints verticaux entre bordures contre lesquelles les filets d'eau sont posés. Si exceptionnellement la hauteur des talons dépasse 50 mm, il est utile de les exécuter à l'aide d'asphalte coulé contenant un bitume-polymère.

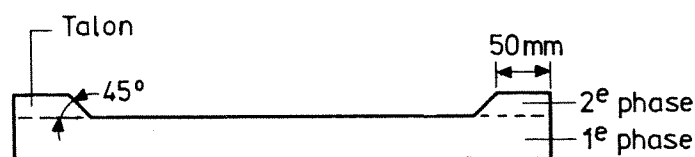


Fig. 8.15.

Coupe type de la couche de surface d'un filet d'eau en asphalte coulé

B. Béton de ciment

Les filets d'eau en béton de ciment peuvent être **préfabriqués ou coulés sur place**. Le béton de ciment est obligatoirement du type routier (résistance aux sels de déneigement).

Quand le béton est coulé en place sur un support susceptible de favoriser l'évacuation de l'eau du béton lors de sa mise en place, il faut prendre les mesures nécessaires pour éviter la perte de laitance conduisant à une porosité trop grande et donc à une moindre résistance du béton. A cet effet, on peut par exemple interposer une feuille de polyéthylène entre le béton et son support.

Cette feuille doit être perforée lorsqu'un géotextile de drainage est prévu sur le support.

Ces filets d'eau permettent en principe un certain **reprofilage** en faisant varier leur épaisseur. l'épaisseur usuelle de ces filets d'eau (150 à 200 mm) fait qu'ils sont le plus souvent utilisés avec des revêtements de chaussée épais (par exemple revêtement en béton de ciment).

Lorsque le revêtement adjacent est du type béton armé continu, le filet d'eau peut être réalisé simultanément et faire partie intégrante du béton armé continu. Dans les autres cas, des joints à sceller doivent être prévus.

Lorsqu'il y a un risque de désolidarisation entre le filet d'eau et les éléments voisins, il est utile de prévoir en surface, à la jonction du filet d'eau et des matériaux adjacents, une saignée (profondeur 30 mm) à sceller à l'aide d'une masse adéquate.

Du fait de la présence de joints ou de fissures (béton armé continu), ce type de filet d'eau ne peut pas être considéré comme étanche.

C. Béton bitumineux

Il s'agit en fait du revêtement de la chaussée qui est prolongé au droit du filet d'eau. Les couches supérieures peuvent, le cas échéant, y être spécialement profilées grâce à une adaptation de la finisseuse. Il est recommandé d'enduire – à l'aide d'un produit bitumineux – la surface du revêtement en vue de parfaire son étanchéité superficielle, aux endroits où il sert de filet d'eau.

Avec ce type de filet d'eau, le reprofilage ne pose pas de problème particulier puisqu'il est résolu en même temps que celui du revêtement adjacent.

8.5.4. La couche intermédiaire

La couche intermédiaire sert essentiellement de reprofilage et/ou de mise à niveau de la couche de surface. Une telle couche est souvent

nécessaire lorsque la couche supérieure du filet d'eau est en asphalte coulé. Elle peut par contre être évitée dans le cas de béton de ciment coulé en place.

Lorsque c'est possible, il est toujours **préférable de réaliser cette couche en même temps que la couche correspondante de la chaussée adjacente**, en prolongeant cette couche sous le filet d'eau. A défaut, on réalisera séparément cette couche à l'aide de matériaux bitumineux drainants ou de béton hydraulique drainant.

En vue d'obtenir des propriétés mécaniques optimales, on veillera particulièrement à obtenir une compacité suffisante de la couche, car il n'est pas exclu qu'elle soit soumise de temps en temps à l'action de la roue d'un véhicule.

Le choix du type de matériau est fonction de l'épaisseur disponible et du matériel disponible sur chantier en vue d'une réalisation optimale.

8.5.5. La couche de drainage

Dans la mesure où un géotextile de drainage (voir § 8.10.2) a été prévu sous le trottoir, il est utile de le prolonger sous le filet d'eau également.

Le danger d'importantes rentrées d'eau à cet endroit est en effet réel ; en outre la mise en communication de la partie inférieure du revêtement de chaussée avec le système de drainage sous le trottoir assure un certain drainage du revêtement lui-même. Il est évidemment indispensable que soit prévu un exutoire aux eaux de drainage (cf. § 8.11).

Il n'est toutefois pas conseillé de placer une telle couche de drainage sous une couche de béton bitumineux dont la mise en œuvre pourrait ainsi être perturbée.

8.6. BANDES DE CONTREBUTAGE

Les bandes de contrebutage sont réalisées en **béton de ciment** (coulé en place ou éléments préfabriqués). Leur conception et leur technologie sont identiques à celles des filets d'eau en béton de ciment. On se référera donc à ce sujet au § 8.5.3.

Ajoutons que la nécessité d'un **drainage** dépend de la position de la bande de contrebutage dans le profil transversal : si elle se situe au point haut du profil transversal et qu'aucun dispositif d'évacuation des eaux n'est prévu à proximité, il est inutile de prévoir un drainage à cet endroit, sauf si, par sa localisation, la bande de contrebutage forme barrage.

8.7. PISTES CYCLABLES

Les pistes cyclables sont réalisées en **asphalte coulé, en béton bitumineux, en béton de ciment ou en dalles 300 x 300 mm**. Les pistes cyclables sont réalisées suivant la même conception et la même technique que les trottoirs. On se référera donc à leur sujet au 8.4.

Notons cependant que la rugosité exigée peut nécessiter certains traitements superficiels spécifiques ou conduire à l'élimination de certains matériaux.

8.8. BORDURES ET CHASSE-ROUES

Les bordures et chasse-roues sont des **éléments préfabriqués en béton de ciment** résistant aux sels de déneigement. Ils sont posés sur une fondation de préférence en béton maigre drainant ou éventuellement en sable drainant stabilisé au ciment.

La fondation est mise en place sur la couche de protection de l'étanchéité. Dans la mesure où une couche de **drainage** (§ 8.10.2) a été prévue sous l'un au moins des éléments adjacents, il est utile de la prolonger sous la fondation du chasse-roue ou de la bordure car leurs joints et extrémités sont des points préférentiels de pénétration d'eau.

Si le niveau supérieur des chasse-roues dépasse celui de l'élément adjacent (trottoir par exemple) contre lequel ils sont posés, il est nécessaire de percer les chasse-roues en vue d'assurer le passage des eaux de ruissellement vers le filet d'eau.

On évitera d'utiliser des bordures en béton pourvues d'un démaigrissement de la queue (cf. NBN B21-411) dont le niveau pourrait être incompatible avec une protection efficace des parties adjacentes de la bordure.

Le cas des barrières du type «New Jersey» est traité au § 8.3.

8.9. BUSETTES DE DÉCOMPRESSION

Lorsque l'étanchéité est du type asphalte coulé, il est indispensable de munir la dalle de platelage d'un réseau de busettes mettant en contact la face inférieure de l'étanchéité avec la face inférieure de la dalle de platelage. Ces busettes peuvent jouer un **triple rôle** :

- mettre en contact la face inférieure de l'étanchéité avec la pression atmosphérique et limiter ainsi le danger de cloquage de l'asphalte coulé.
- permettre l'évacuation des éventuelles eaux de condensation à l'interface dalle-étanchéité.
- servir à l'évacuation des eaux d'infiltration en cas de ruine de l'étanchéité et contribuer à la détection et à la localisation d'éventuelles fuites.

8.9.1. Conception

Les busettes, qui traversent toute l'épaisseur de la dalle de platelage, sont, soit de simples tubes en plastique de 20 à 30 mm de diamètre, soit ces mêmes tubes soudés à leur partie supérieure à un plateau de 100 mm x 100 mm, et de 1 mm d'épaisseur maximum, également en plastique. Dans certains cas, ces busettes peuvent être combinées aux gargouilles de drainage (voir § 8.11.2.2.).

L'extrémité inférieure des busettes doit soit dépasser d'environ 30 mm le niveau inférieur du béton et être de préférence biseautée, soit être munie d'un dispositif préfabriqué, formant goutte d'eau, inclus comme coffrage perdu.

8.9.2. Implantation

Les busettes sont implantées au minimum aux points bas des profils transversaux et longitudinaux, mais obligatoirement dans les zones de non adhérence des asphaltes coulés. Leur entredistance maximale est de 10 m (entredistance longitudinale uniquement lorsqu'aucun quadrillage n'est prévu cf. § 4.3.2.2.c.). Lorsqu'il est prévu de poser le vernis d'adhérence en quadrillage, une busette doit en outre être disposée à l'intérieur de chacune des mailles ainsi définies. Pour rappel, ces busettes ne peuvent se situer à l'aplomb du gabarit des poutres. On doit en outre éviter de les disposer au droit des voies inférieures de circulation.

8.9.3. Mise en place

En règle générale, les busettes sont **mises en place avant bétonnage**. Elles seront solidement arrimées au ferrailage de façon à ce qu'elles ne subissent ni déformation, ni déplacement lors de la mise en œuvre du béton. On veillera en outre à prendre les précautions qui s'imposent pour éviter leur obstruction (par dessus et par dessous) pendant la période précédant la pose de l'étanchéité.

Dans le cas de dalles de platelage de faible épaisseur (max. 200 mm), les busettes peuvent être également **mises en place après bétonnage**. Il convient alors de percer la dalle d'un trou d'un diamètre légèrement supérieur à celui de la busette. Ce trou est de préférence percé de bas en haut en vue d'éviter l'écaillage de la face inférieure de la dalle de platelage. La busette, obligatoirement du type «plateau», est alors placée dans l'évidement et est tenue en place par collage du plateau sur le béton.

8.10. DISPOSITIFS DE DRAINAGE

Le drainage des couches non étanches situées au-dessus de la chape d'étanchéité est **toujours souhaitable**. En effet, à l'exception des asphaltes coulés, les revêtements de la chaussée et des zones adjacentes des ouvrages d'art ne peuvent jamais être considérés comme

imperméables soit de par leur porosité soit à cause de la présence de joints ou encore de dégradations. A l'inverse des chaussées hors pont, l'eau qui y pénètre y reste enfermée à cause de la chape d'étanchéité si bien qu'en l'absence de drainage, les couches surmontant l'étanchéité restent fréquemment imprégnées d'humidité, ce qui, à la longue, accélérera leur dégradation par désenrobage ou par l'action du gel, et des sels de déneigement.

Un dispositif de drainage comprend normalement un géotextile de drainage et un dispositif de collecte. A défaut, seul le dispositif de collecte peut être prévu.

Lorsqu'un dispositif de drainage est prévu, il est indispensable de lui fournir un exutoire (cf. § 8.11.).

8.10.1. Drainage du revêtement de chaussée

8.10.1.1. Revêtement bitumineux

Dans l'état actuel des connaissances, **il n'est pas possible de préciser des solutions techniques permettant d'assurer un drainage spécifique du revêtement bitumineux** de la partie «chaussée» du pont.

Les solutions disponibles actuellement ne présentent pas de garanties suffisantes quant à la longévité du revêtement et nécessitent préalablement d'être expérimentées.

En effet, posés sur de grandes surfaces, les matériaux utilisés pour assurer le drainage dans les parties adjacentes (géotextile drainant) risquent, du fait de leurs caractéristiques (compressibilité) ou de leur présence (ils constituent un interface non adhérent), d'être incompatibles avec la pose ou la tenue correcte de couches bitumineuses compactées.

Ces interfaces rendront probablement difficile le compactage de la couche bitumineuse dont les caractéristiques obtenues seront dès lors médiocres. En outre, ces interfaces affaibliront la résistance au cisaillement du revêtement, ce qui diminuera sa résistance aux effets des actions tangentielles (freinage). On peut tout au plus envisager de les placer localement par exemple : aux abords du joint de dilatation (cf. 8.13.2.1. et 8.13.2.3.).

On peut évidemment songer à augmenter l'efficacité du drainage des revêtements hydrocarbonés de chaussée en utilisant des enrobés drainants pour leurs couches inférieures (protection ou liaison). Toutefois, la tenue à long terme de ces matériaux n'est pas encore connue et il conviendra de l'expérimenter sur ouvrages d'art en vue notamment de contrôler leur compatibilité avec l'étanchéité.

On compte par conséquent actuellement sur la perméabilité horizontale des couches du revêtement et **on collecte les eaux à l'extrémité**

latérale de la chaussée à l'aide du dispositif de drainage des zones adjacentes de la chaussée qui à cet effet est prolongé de quelques centimètres sous la chaussée.

8.10.1.2. *Revêtement en béton de ciment*

Rien ne s'oppose – en principe – à la pose d'une couche de géotextile drainant sous un revêtement en béton de ciment. On optera généralement pour un géotextile bicouche ce qui favorisera le glissement entre le béton armé continu et son support. Le géotextile doit être à base de polypropylène.

8.10.2. **Drainage des zones adjacentes de la chaussée**

8.10.2.1. *Géotextile de drainage*

Les matériaux utilisés pour les revêtements de ces zones ainsi que les caractéristiques requises pour ces revêtements, sont généralement compatibles avec la pose de géotextiles drainants (les contre indications sont, le cas échéant, signalées aux paragraphes consacrés à chacun des éléments des zones adjacentes de la chaussée).

Le choix du géotextile sera fonction, pour des raisons de compatibilité chimique, du type de matériau avec lequel il est en contact (polypropylène pour du béton de ciment, polyester sous des matériaux bitumineux).

L'épaisseur du géotextile sera la plus forte possible (masse surfacique $\geq 350 \text{ g/m}^2$), en vue de favoriser le drainage compte tenu du risque de contamination de la partie supérieure du géotextile, pour autant que la compressibilité qui en résulte soit compatible avec la pose des couches supérieures.

Le géotextile est **en principe monocouche** sauf s'il y a lieu de favoriser un glissement à ce niveau (revêtement en béton de ciment par exemple).

Le géotextile drainant est **généralement placé sur la couche de protection**; cela se justifie certainement pour les protections du type asphalte coulé et les protections spéciales qui sont toutes deux étanches mais également pour la protection du type bitumineux car, placé sous cette couche, le matériau drainant empêcherait la compaction correcte de celle-ci.

8.10.2.2. *Dispositif de collecte*

8.10.2.2.1. Implantation

Dans le sens transversal, les eaux du géotextile drainant sont rassemblées dans un dispositif de collecte situé aux points les plus bas du profil transversal du support des zones drainées. Dans un même profil

transversal il peut y avoir plusieurs points bas (trottoir extérieur et berme centrale par exemple...).

Lorsque ces points bas se situent au pied d'un relevé, l'axe du dispositif de collecte peut éventuellement être décalé d'une vingtaine de centimètres par rapport à ce pied pour tenir compte de l'encombrement des gargouilles d'évacuation (§ 8.11).

De légers décalages transversaux par rapport aux points bas se justifient également dans les cas suivants :

- manque d'épaisseur disponible pour placer le dispositif de collecte ;
- point bas trop proche du bord de la chaussée (dispositif de collecte toujours en dehors de la chaussée) ;
- point bas coïncidant avec un revêtement étanche dans toute son épaisseur (par exemple : filet d'eau en asphalte coulé sur protection en asphalte coulé) : il vaut mieux situer le dispositif de collecte dans une partie non étanche du revêtement.

8.10.2.2.2. Conception du dispositif

Ces dispositifs de collecte sont soit, des tuyaux d'un diamètre minimal de 20 mm, soit des profilés creux (30 mm x 20 mm par exemple) en PVC ou en métal non corrodable, qui acheminent les eaux de drainage vers les gargouilles ou vers des avaloirs.

Ils sont percés de trous ou munis de rainures disposées au bas du dispositif en vue d'y faire pénétrer les eaux du géotextile. Ils peuvent le cas échéant être entourés d'un filtre constitué par des matériaux adaptés aux actions qu'ils subissent (pierrailles de petit calibre (2/4) ou béton drainant par exemple) entouré lui-même d'un géotextile drainant.

Pour le drainage au droit des joints de dilatation (cf. 8.13.2.) il vaut mieux utiliser le profilé rectangulaire qui se prête mieux à son incorporation au joint.

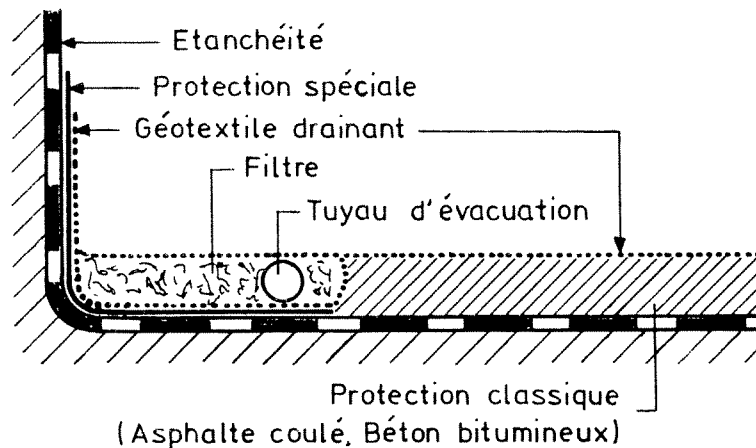
8.10.2.2.3. Les abords

Dans le cas où, à l'emplacement du dispositif de collecte est prévue une couche de protection classique (asphalte coulé ou béton bitumineux de 30 mm d'épaisseur) (**figure 8.16.**), il vaut mieux interrompre celle-ci de manière à ce que le dispositif de collecte constitue un point bas du système de drainage. Le tuyau ou le profilé est alors placé directement sur l'étanchéité munie localement d'une protection spéciale (cf. § 5.2.4.). Le filtre peut alors être prolongé, le cas échéant, jusqu'au pied du relevé lorsque la largeur de l'espace ainsi couvert ne dépasse pas une vingtaine de centimètres.

Dans le cas où une couche de protection de type mince (§ 5.2.4.) est prévue aux abords du dispositif de collecte (**figure 8.17.**), celui-ci est

directement posé sur cette couche de protection. Un profilé creux se prête mieux à cet usage.

Les dispositifs de collecte doivent être connectés correctement (utilisation éventuelle de réducteurs) dans les orifices «ad hoc» des gargouilles ou des avaloirs qui doivent en outre constituer les réels points bas du réseau des tuyaux ou profilés (pas de contre-pente dans les tuyaux).



SOC 15.263/1

Fig. 8.16.
Tuyau de drainage – Protection classique

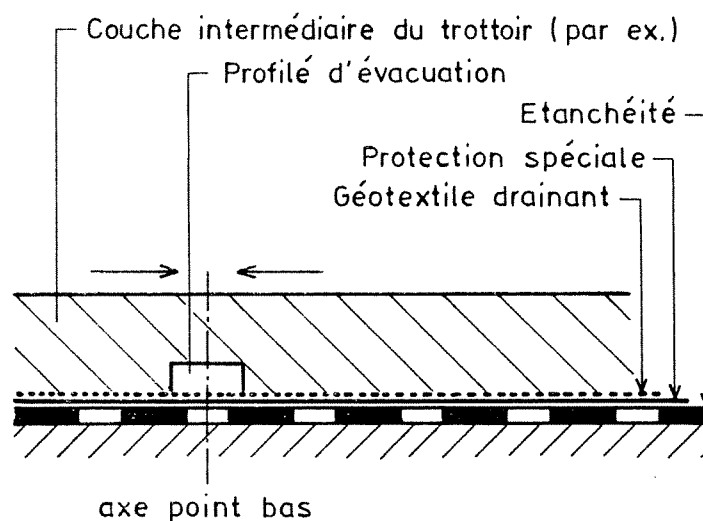


Fig. 8.17.
Profilé d'évacuation – Protection spéciale

SOC 15.238

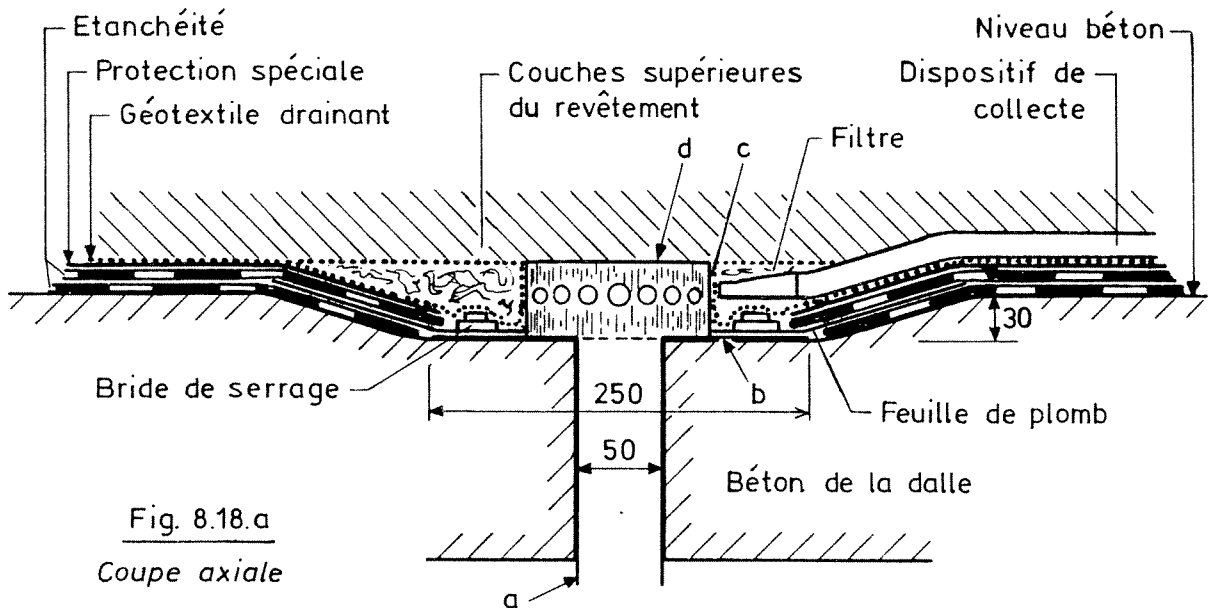


Fig. 8.18.a
Coupe axiale

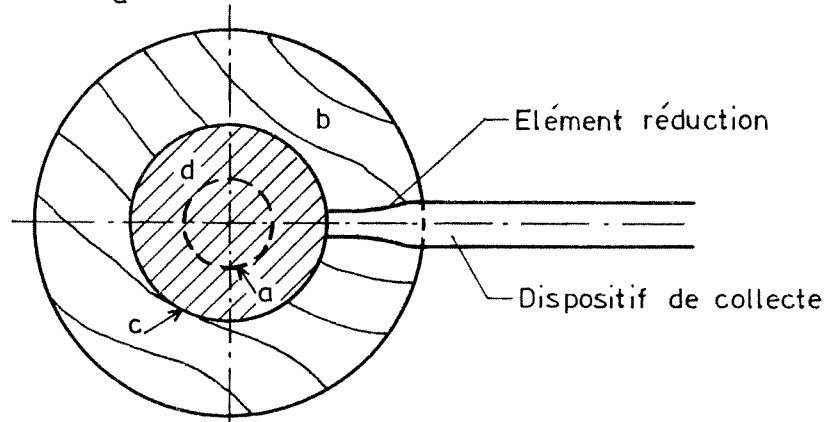


Fig. 8.18.b
Vue en plan

Note : Les points a, b, c, d sont décrits au § 8.11.2

Fig. 8.18

Gargouille de drainage avec bride de serrage et bavette en plomb placée comme coffrage perdu – Support dénivelé –

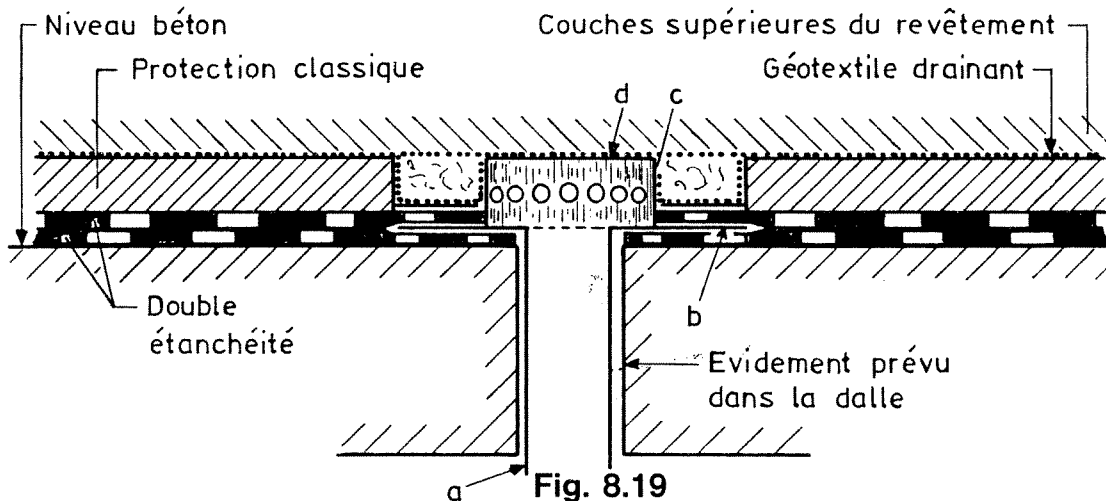


Fig. 8.19

Gargouille de drainage en plomb placée dans un évidement de la dalle Sandwichage par l'étanchéité – Support non dénivelé

SOC 15.239/2

8.11. GARGOUILLES DE DRAINAGE

Les gargouilles sont destinées à assurer l'évacuation des eaux de drainage des parties non imperméables du revêtement situées au-dessus de l'étanchéité et collectées par les dispositifs décrits au § 8.10.

8.11.1. Localisation

Dans le sens transversal, les gargouilles seront placées au droit des dispositifs de collecte des eaux de drainage ou aux emplacements prévus pour ceux-ci (§ 8.10.2.2.). Pour rappel (cf. § 3.1.2.3.), ces gargouilles ne peuvent se trouver ni à l'aplomb du gabarit des poutres ni, de préférence, à l'intérieur des caissons. Lorsqu'il en est cependant ainsi, les gargouilles doivent être raccordées au système général d'évacuation des eaux du pont et le caisson doit être accessible.

Dans le sens axial du pont, il est souhaitable que leur entredistance ne dépasse pas 10 m. Elles sont placées aux points bas du profil ainsi qu'à l'amont de tout obstacle, tel les joints de dilatation. Leur emplacement exact est à définir entre autres en fonction de la structure de l'ouvrage (présence d'entretoises par exemple). En outre, lorsque le tuyau d'évacuation des gargouilles débouche directement à l'air libre on disposera les gargouilles en dehors des voies de circulation situées sous l'ouvrage.

Au cas où le point bas du support correspond à la position du filet d'eau et que les avaloirs sont munis d'un dispositif de drainage, ceux-ci peuvent remplacer les gargouilles à l'endroit où ils se trouvent.

Dans le cas de ponts courts, de pente uniforme et dépourvus d'obstacle (joint de dilatation par exemple) dans le sens axial il est possible d'éviter le placement de gargouilles sur l'ouvrage. Dans ce cas les eaux de drainage sont à recueillir par des dispositifs «ad hoc» à l'arrière de la culée (massif drainant par exemple).

8.11.2 Conception

8.11.2.1. *Les gargouilles*

Elles sont par exemple constituées d'un **ensemble de 4 pièces** solitaires comprenant (cf. **figures 8.18. et 8.19.**):

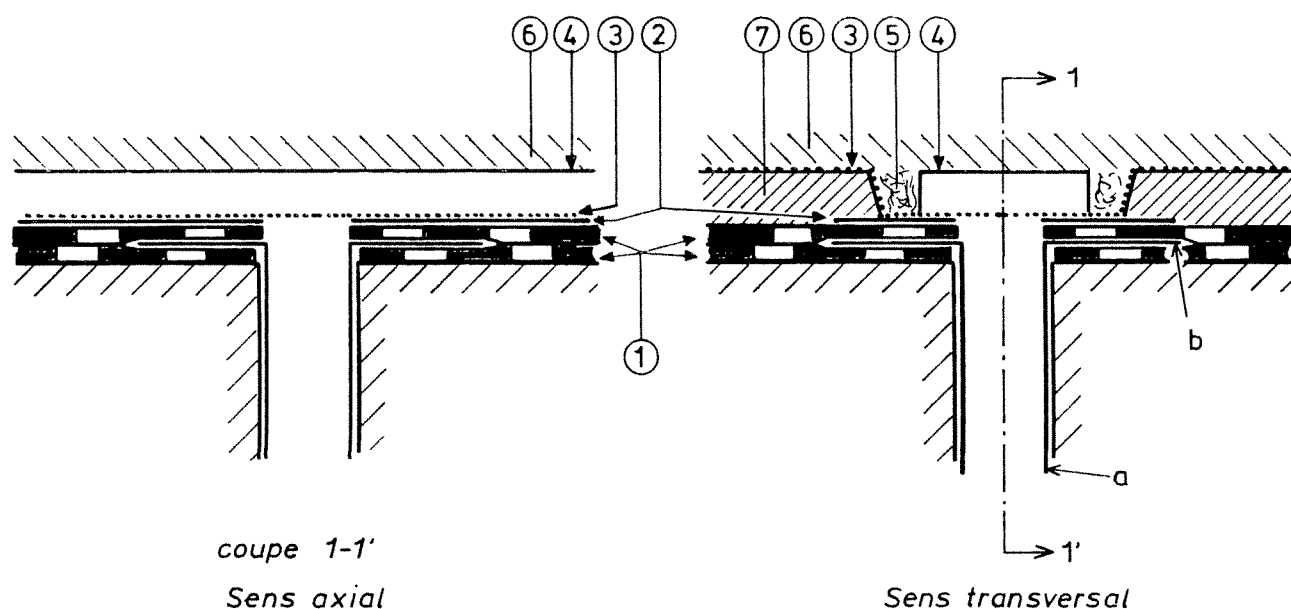
- a) un tuyau d'évacuation (\varnothing 50 mm) traversant l'épaisseur du tablier et débouchant à l'air libre, ou se raccordant (de préférence) au système général d'évacuation des eaux suivant ce qui est prévu au plan de l'ouvrage.
- b) une platine horizontale d'un diamètre de 250 mm permettant le raccord de l'étanchéité.

c) une virole d'un diamètre de 100 mm percée de trous, ouvertures ou fentes permettant le drainage des parties inférieures du revêtement et le raccordement du système de collecte des eaux de drainage. Les trous, ouvertures ou fentes sont positionnés de manière à ce que le drainage soit effectif sur au moins 30 mm de hauteur juste au-dessus du niveau où l'évacuation des eaux doit être assurée.

d) un couvercle formant la face supérieure de la virole.

En **variante** du dispositif décrit ci-dessus, on peut utiliser un **dispositif simplifié** réduit aux parties a) et b) (le tuyau d'évacuation et la platine) du dispositif complet (cf. **figure 8.20.**). Ce dispositif ne peut être utilisé que si la collecte des eaux de drainage se fait à l'aide d'un profil creux.

En vue de favoriser le raccord à l'étanchéité, les gargouilles sont **de préférence** réalisées **en plomb** (figure 8.19.). On peut également utiliser d'autres matériaux tels le PVC ou un métal non corrodable mais, dans ce cas, la platine (b) doit être munie d'une bride de serrage permettant d'y placer une bavette en plomb pour effectuer le raccord à l'étanchéité (figure 8.18.) (cf. § 4.3.2.5.2. et 4.3.3.5.2.).



Légende :

- 1. Etanchéité
- 2. Protection spéciale
- 3. Géotextile drainant

- 4. Dispositif de collecte des eaux de drainage
- 5. Filtre
- 6. Couches supérieures du revêtement
- 7. Protection classique

Fig. 8.20.
Gargouille (dispositif simplifié)

SOC 15.240/1

8.11.2.2. *Les abords*

La virole est entourée d'un **filtre** constitué d'un matériau de stabilité adaptée aux actions qu'elle subit (pierraille 2/4 ou béton drainant par exemple), enveloppé d'une couche de géotextile drainant.

L'orifice d'évacuation des eaux **doit se trouver à un point bas** par rapport au drain environnant. La gargouille est de ce fait placée de préférence en contrebas par rapport au plan environnant (± 30 mm) (voir figure 8.18.). Dans ce cas, les pentes et changements de direction du béton de raccord seront compatibles avec une pose correcte de l'étanchéité. Ces adaptations du niveau du support doivent avoir été prévues au moment du projet car il ne peut en résulter une diminution de l'épaisseur de recouvrement des armatures de la dalle.

Dans le cas d'une étanchéité du type asphalte coulé, il est possible de combiner gargouilles de drainage et busettes de décompression. Cette solution est toutefois à déconseiller car elle présente des risques de pénétration d'eau sous l'étanchéité.

8.11.3. **Mise en place**

Les gargouilles peuvent servir de coffrage perdu et être **placées avant le bétonnage de la dalle*** (figure 8.18.); elles peuvent également être posées **après achèvement de la dalle** dans des évidements prévus à cet effet (figure 8.19.). On se reportera aux deux premiers alinéas du § 8.12.3. en ce qui concerne les avantages et inconvénients de ces deux solutions, ainsi que des précautions à prendre lors de leur application.

Un «sandwichage» de l'élément «b» des figures 8.18. et 8.19. de la gargouille par l'étanchéité est à recommander. Ceci peut se faire pour les deux modes de pose lorsque la gargouille est munie d'une bavette en plomb. Par contre, lorsque la gargouille est entièrement en plomb, elle doit être placée après coup dans l'évidement prévu lors du bétonnage.

8.12. **AVALOIRS**

Les avaloirs se raccordent toujours au système général d'évacuation des eaux de l'ouvrage dont la conception n'est pas abordée dans le présent code de bonne pratique.

Si cette évacuation se situe à l'intérieur du caisson (non recommandé), celui-ci doit être accessible.

* On veillera dans ce cas à éviter toute pénétration de béton à l'intérieur des gargouilles.

8.12.1. Localisation

Dans le sens axial du pont, on prévoira un avaloir par 300 m², sans toutefois que l'entredistance ne dépasse 30 m environ. Si la pente longitudinale du pont est très faible (inf. à 1 %) ces entredistances doivent être diminuées. L'emplacement exact des avaloirs est à définir entre'autres en fonction de la structure de l'ouvrage (présence d'entretoises par exemple). En outre, un avaloir doit être prévu à l'amont du pont lui-même et à l'amont de tout obstacle, tel par exemple un joint de dilatation, que celui-ci soit ou non profilé au droit du filet d'eau.

Dans le sens transversal, l'avaloir se place dans le filet d'eau. Il ne peut cependant pas se trouver à l'aplomb du gabarit d'une poutre et se situe de préférence en dehors des caissons (voir § 3.1.2.3.). S'il se situe néanmoins à l'aplomb d'une poutre on peut utiliser un avaloir à évacuation latérale (figure 8.22.). Si le manque de place empêche la pose d'un avaloir de ce type, il faut déplacer l'avaloir vers le trottoir. Le filet d'eau doit alors être spécialement profilé pour diriger les eaux vers l'avaloir. Si le trottoir est en outre dénivélé par rapport à la chaussée, il faut utiliser des avaloirs à entrée latérale (type ville de Paris). Cette disposition n'est cependant jamais recommandée.

8.12.2. Conception de l'avaloir et de ses abords

Les avaloirs des ouvrages d'art routiers doivent être conçus de manière à :

- permettre un raccord correct de l'étanchéité ;
- favoriser l'exécution d'un béton de qualité aux abords de l'avaloir ;
- éventuellement, assurer le drainage des parties inférieures du revêtement ;
- assurer l'évacuation des eaux de ruissellement en toutes circonstances, y compris durant les diverses phases du chantier ;
- autoriser un réglage en hauteur de la grille de l'avaloir.

Cette dernière caractéristique est importante dans la mesure où sur ponts, on recourt pratiquement toujours au reprofilage du revêtement.

Les figures 8.21. et 8.22. montrent des schémas de principe réalisant cette conception.

8.12.2.1. L'avaloir

L'avaloir se compose de 4 parties.

Partie A : Il s'agit de la **cuve** de l'avaloir prolongée à sa partie supérieure par une aile d'au moins 50 mm de large équipée d'une bride de serrage permettant la fixation mécanique d'une bavette en plomb, nécessaire au raccordement de l'étanchéité. Cette aile est généralement dénivellée, ce qui facilite le bétonnage et crée un réel point bas à l'avaloir.

Partie B : Cette partie assure à la fois le **drainage** de la partie inférieure du revêtement **et le réglage en hauteur** de la grille de l'avaloir. En vue du drainage, la pièce doit être percée d'orifices permettant le cas échéant un raccord correct des tuyaux ou profilés de collecte des eaux de drainage ; le réglage en hauteur de la partie C peut être obtenu par l'empilement de plusieurs éléments ou à l'aide d'une bride de serrage.

Partie C : Il s'agit du **support de la grille**. Cette pièce comprend un dispositif (partie inférieure) empêchant la pénétration directe des eaux de ruissellement dans le système de drainage.

Partie D : Grille de l'avaloir.

Toutes les parties de l'avaloir doivent, après montage, constituer un ensemble mécanique solide pouvant le cas échéant résister à l'application d'une roue de véhicule lourd. Ils doivent en outre résister à la corrosion.

8.12.2.2. *Les abords*

En vue d'améliorer le drainage des couches surmontant l'étanchéité, il convient d'aménager **un point bas** par rapport au niveau normal de l'étanchéité. Ce point bas est réalisé dans la partie supérieure de la partie A de l'avaloir et éventuellement en profilant le béton à sa connexion avec l'avaloir (figure 8.22.). Dans ce cas, les pentes et changements de direction de ce raccord doivent être tels qu'ils permettent une pose correcte de l'étanchéité. Ces adaptations du support doivent avoir été prévues au moment du projet car il ne peut en résulter une diminution de l'épaisseur de recouvrement des armatures de la dalle.

Un filtre sera placé au point bas. Il est constitué d'un mélange drainant et stable (compte tenu du niveau des actions qu'il subit).* Le filtre occupe tout le volume sous la couche supérieure du filet d'eau correspondant à la surface de la cuve de l'avaloir. Le filtre lui-même est entouré d'un géotextile de drainage dont l'extrémité supérieure est placée sur la chape de protection qu'elle chevauche sur environ 100 mm. A sa partie inférieure, le géotextile pénètre dans la cuve de l'avaloir.

* par exemple : un béton de résine drainant.

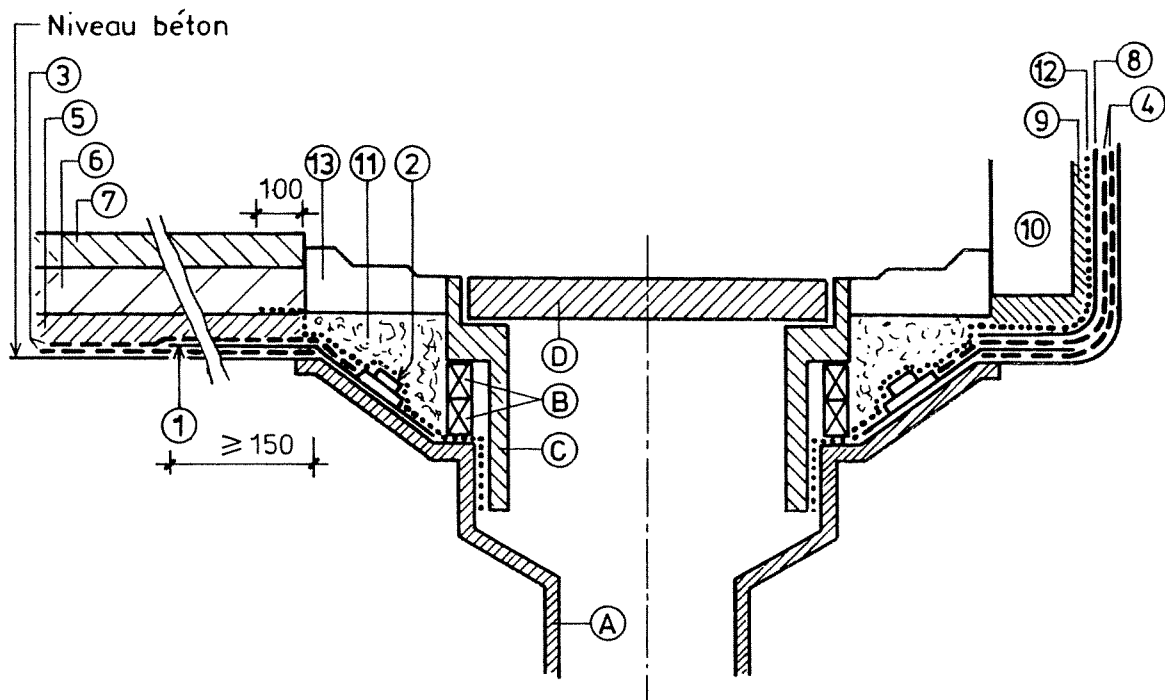


Fig. 8.21.
Coupe transversale au droit d'un avaloir à évacuation verticale
Support horizontal

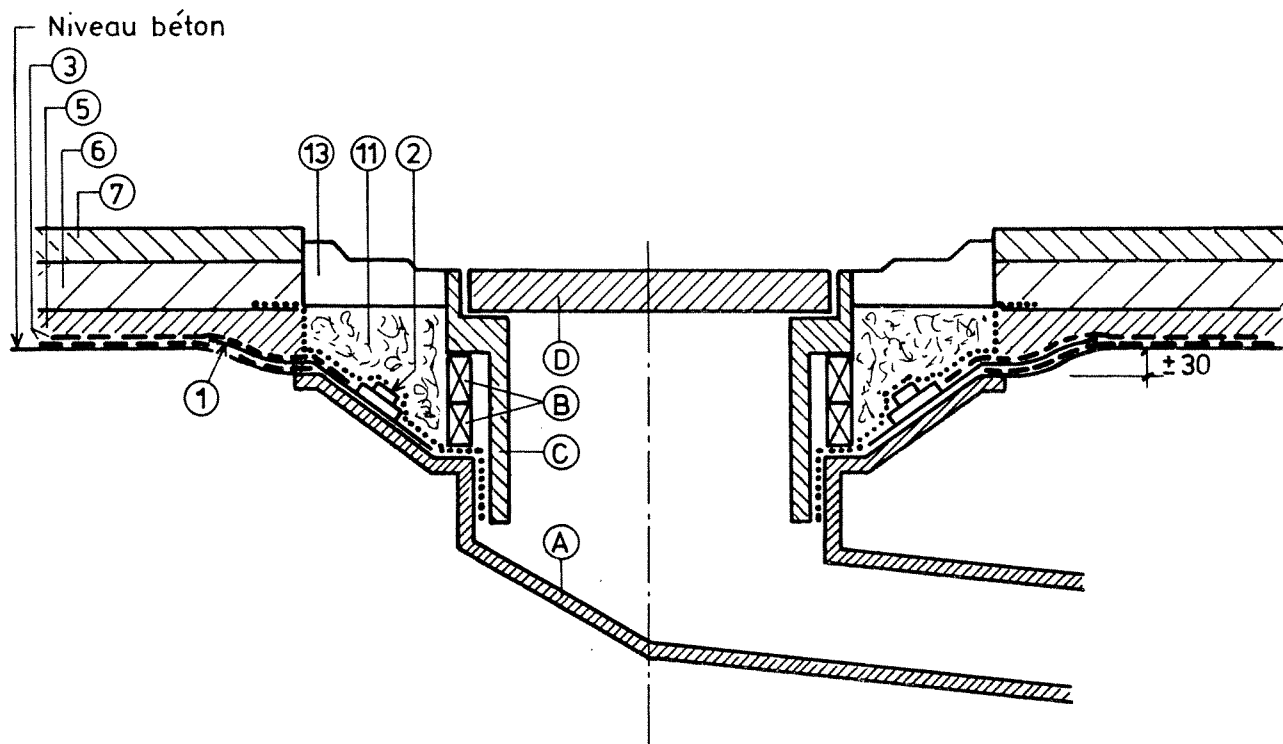


Fig. 8.22.
Coupe transversale au droit d'un avaloir à évacuation latérale
Support dénivelé

Légende des figures 8.21. et 8.22.

- A Cuve de l'avaloir (coffrage perdu)
- B Dispositif de drainage et de mise à hauteur de la grille de l'avaloir
- C Support de grille
- D Grille de l'avaloir

1. Bavette en plomb en sandwich dans l'étanchéité
2. Bride de serrage
3. Etanchéité bicouche
4. Feuilles de l'étanchéité bicouche
5. Protection classique
6. Couche de liaison
7. Couche de roulement
8. Protection spéciale
9. Mortier de pose
10. Bordure
11. Filtre de l'avaloir
12. Géotextile de drainage
13. Couche supérieure du filet d'eau.

8.12.3 Mise en place

Il est recommandé de mettre la cuve de l'avaloir en place avant le bétonnage, la cuve sert alors de coffrage perdu. Ce procédé à l'avantage de procurer une bonne liaison de l'avaloir au béton de platelage ; par contre il peut rendre difficile le bétonnage aux abords de l'avaloir et notamment le respect de la planéité de la dalle de platelage. Il faut en outre prendre des précautions spéciales pour obtenir un remplissage et un serrage correct du béton sous les ailes supérieures de la cuve et veiller à éviter l'obstruction de l'avaloir par du béton ou d'autres matières parasites.

Toutefois, lorsque ce mode de pose n'est pas applicable, notamment dans le cas d'avaloirs à une pièce ne permettant pas le réglage en hauteur, on ménagera la place de l'avaloir à l'aide d'un coffrage provisoire ; la cuve est alors posée après bétonnage de la dalle de platelage. On veillera dans ce cas à soigner particulièrement la liaison (qualité du béton et de l'exécution) entre l'avaloir et la dalle de platelage.

En tout état de cause, la partie supérieure des ailes de l'avaloir muni d'un dispositif de drainage doit toujours être placée de telle manière que **l'étanchéité**, une fois posée, **ne présente aucun point haut à l'entrée de l'avaloir**.

En ce qui concerne la mise en place des éléments de l'avaloir et l'exécution du revêtement aux abords de celui-ci, **il est souhaitable de suivre l'ordre ci-dessous** (voir figure 8.21.) :

- pose de l'élément A de l'avaloir ;
- pose complète de l'étanchéité (3-4), y compris le raccord avec la bavette en plomb (1) (cf. § 4.3.2.5.2. et 4.3.3.5.2.) ;

- pose de toutes les couches du revêtement (5-6) à l'exception de la couche de surface en prenant soin de les interrompre à l'endroit prévu pour le filtre et en y incluant l'extrémité du géotextile de drainage (12) ;
- mise en place des éléments B, C, D, de l'avaloir avec réglage correct de la hauteur et fixation définitive ;
- mise en place du filtre (11) ;
- mise en place de la couche supérieure du revêtement (7) et du filet d'eau (13).

8.13. JOINTS DE DILATATION

8.13.1. Principes

Pour le raccord du revêtement au joint de dilatation, les principes suivants sont d'application :

- Compte tenu des actions dynamiques importantes que sont amenées à subir les zones adjacentes au joint, il est indispensable que les **matériaux** soient mis en œuvre dans cette zone de manière à leur conférer leurs **caractéristiques optimales**.
- La **continuité de l'étanchéité** doit pouvoir être assurée.
- Si le joint se trouve au point bas du profil en long, il est toujours souhaitable qu'un **drainage** du revêtement soit assuré. Il faut dans ce cas veiller à ce que le système de drainage ne présente aucune contrepente jusqu'à son exutoire (cf. § 8.11).

La mise en pratique de ces principes peut influencer la conception du joint lui-même. Sauf lorsque le raccord joint-revêtement se fait par l'intermédiaire d'une poutre en béton (§ 8.13.2.2. et 8.13.2.4.), il est recommandé que le joint se prolonge au niveau du support par une **aile métallique horizontale** (largeur minimum 50 mm, maximum* 100 mm) **munie d'une plat de serrage** permettant de fixer mécaniquement la bavette en plomb nécessaire au raccordement de l'étanchéité. (**figures 8.23. a, b et c, et 8.24.**). En outre lorsque les matériaux bitumineux compactés sont mis en œuvre jusque contre le joint, il est préférable que l'aile sur laquelle se fait le raccord de l'étanchéité se situe **dans le plan du support adjacent** (figure 8.23. a). Dans le cas contraire (figure 8.23. b), outre la mise à niveau du support, le raccord nécessite l'exécution des couches bitumineuses sur un support incliné et en épaisseur variable ce qui ne peut être que défavorable à leurs propriétés

* Pour faciliter le bétonnage.

mécaniques. Ce dernier mode de raccordement rend en outre plus difficile l'installation d'un dispositif efficace de drainage des parties supérieures du revêtement.

8.13.2. Exemples de raccordement

Il existe deux manières de placer un joint de dilatation : avant la pose du revêtement adjacent ou après sa pose. A chaque manière correspondent divers modes de réalisation du raccord entre le joint et le revêtement.

- **Lorsque le joint est placé avant pose du revêtement**, le raccord peut s'effectuer en prolongeant les couches bitumineuses jusque contre le joint (le cas échéant celles-ci peuvent alors être remplacées localement autour du joint par de l'asphalte coulé) ou encore en posant celles-ci contre une poutre en béton spécial solidaire du joint (figure 8.23.).
- **Lorsque le joint est placé après pose du revêtement**, la cavité entre le revêtement, préalablement découpé, et le joint est comblée à l'aide de béton spécial ou d'asphalte coulé (figure 8.24.).

Le choix entre l'un et l'autre mode de placement du joint est fonction des considérations suivantes :

- **Le placement des joints après pose du revêtement** permet l'exécution des diverses couches du revêtement en totale continuité et sans aucune contrainte, sur toute la surface du pont. Cette solution facilite donc la pose des revêtements, diminue les risques de mauvaise exécution locale et surtout, permet un meilleur respect des profils. Il est alors généralement aisé d'ajuster correctement le niveau des joints à celui du revêtement adjacent. Il en résulte donc une parfaite continuité de profil et donc de faibles coefficients d'impact ce qui contribuera à augmenter la longévité du revêtement et du joint. Le fait de différer le placement du joint permet éventuellement le choix d'un joint de souffle moindre du fait qu'au moment de sa pose une partie des mouvements irréversibles (retrait, fluage,...) de la superstructure aura déjà eu lieu. En outre, en l'absence de joint, le trafic éventuel de chantier sur le tablier du pont ne subit aucune entrave.

Par contre, ce mode de pose nécessite de nombreuses opérations dont certaines sont délicates notamment en ce qui concerne le raccord de l'étanchéité. En outre, des difficultés peuvent se présenter lors de l'ajustement des niveaux joint-revêtement notamment dans le cas de longs joints d'une seule pièce et à profil variable.

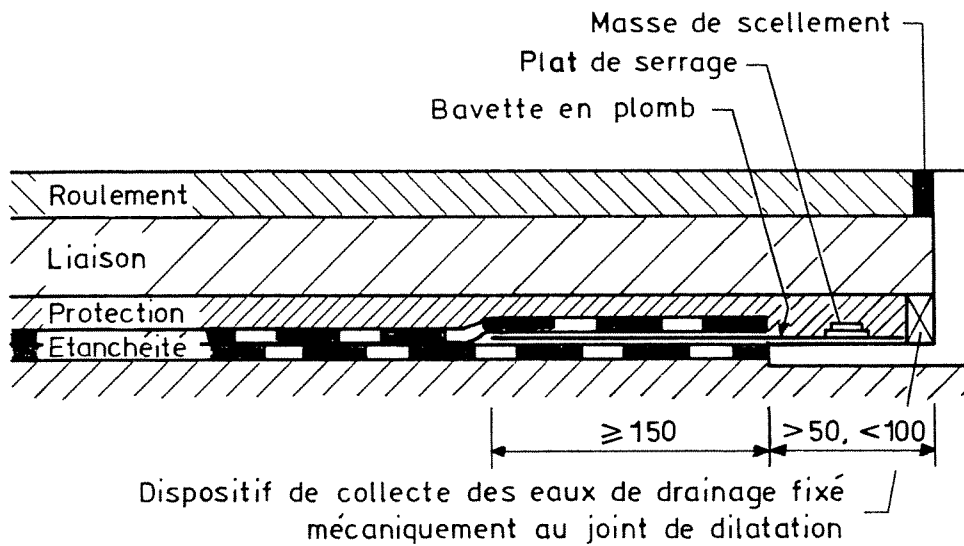


Fig. 8.23.a

Raccordement à l'aide de matériaux bitumineux compactés :
support plan

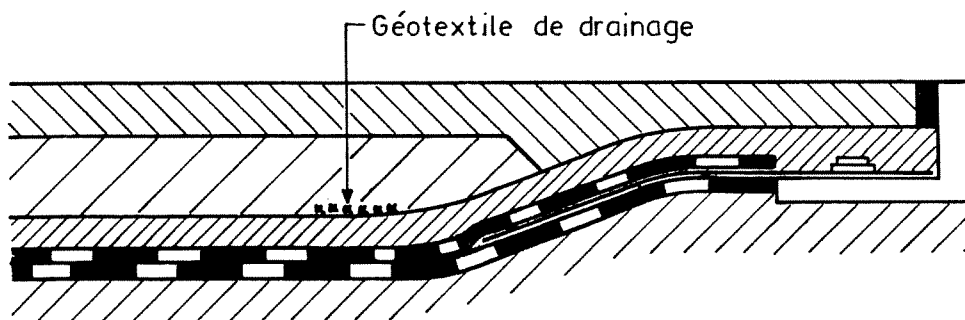
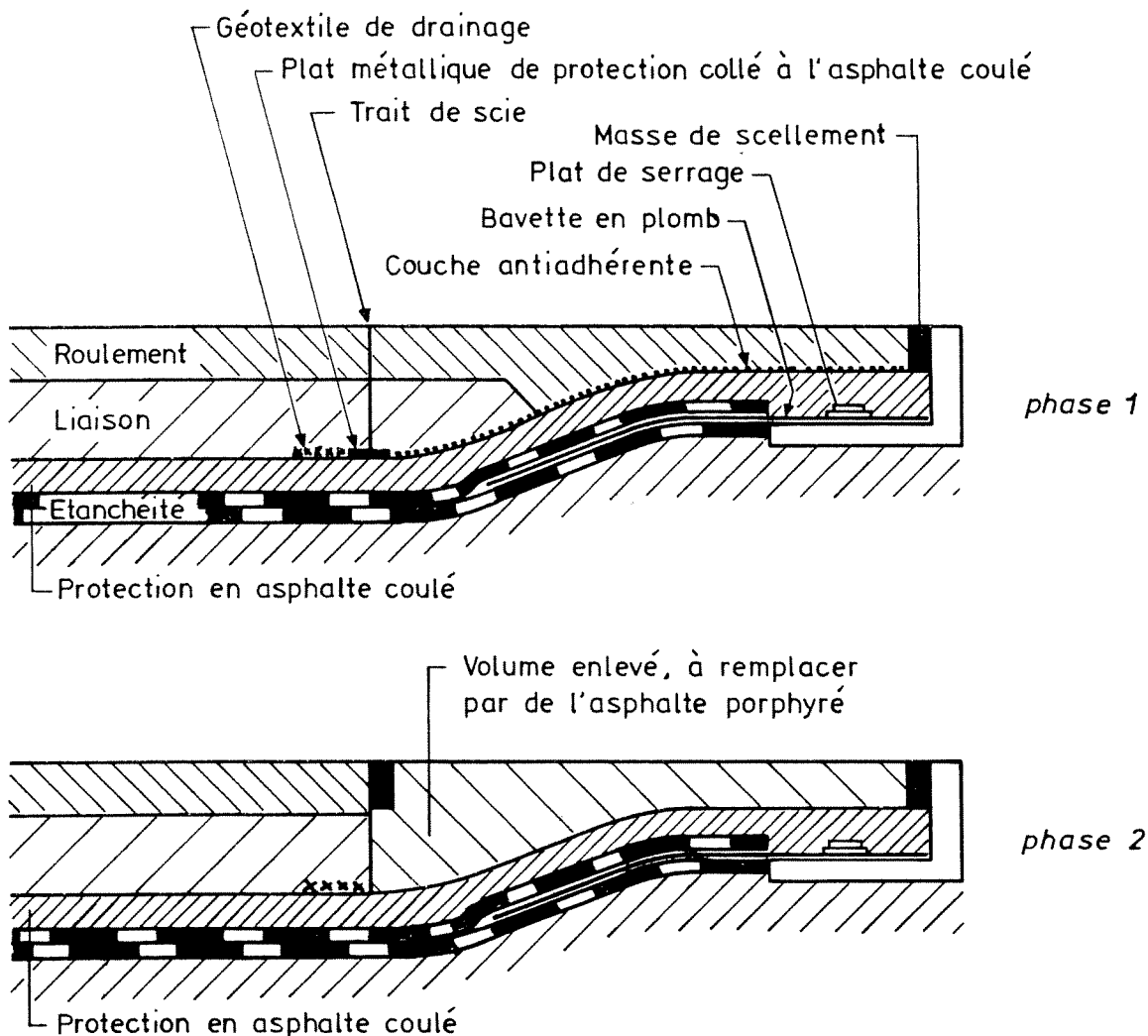


Fig. 8.23.b

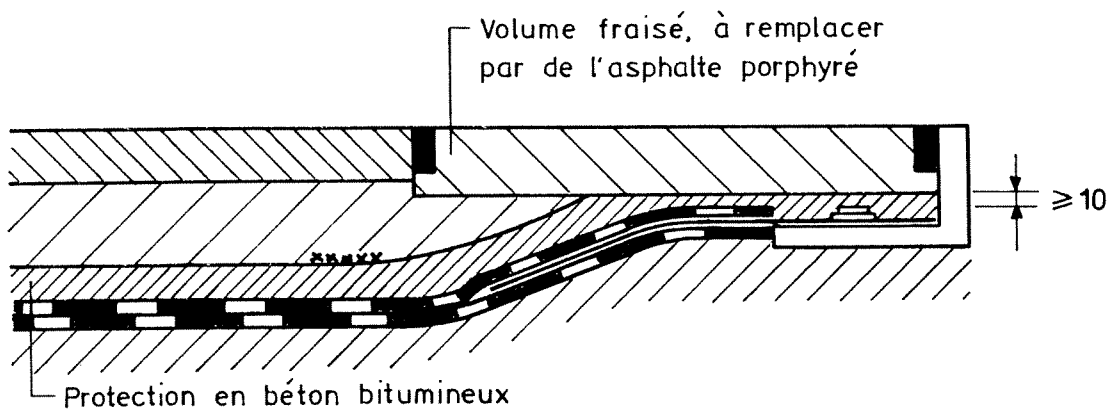
Raccordement à l'aide de matériaux bitumineux compactés :
support dénivelé

Fig. 8.23.
Placement du joint avant la pose du revêtement

SOC 15.242/2



1. Cas de la protection en asphalte coulé



2. Cas de la protection en béton bitumineux

Fig. 8.23.c

Raccordement à l'aide de matériaux bitumineux compactés :
remplacement de la zone adjacente au joint par de l'asphalte porphyré

Fig. 8.23. (1^{ère} suite)

Placement du joint avant la pose du revêtement

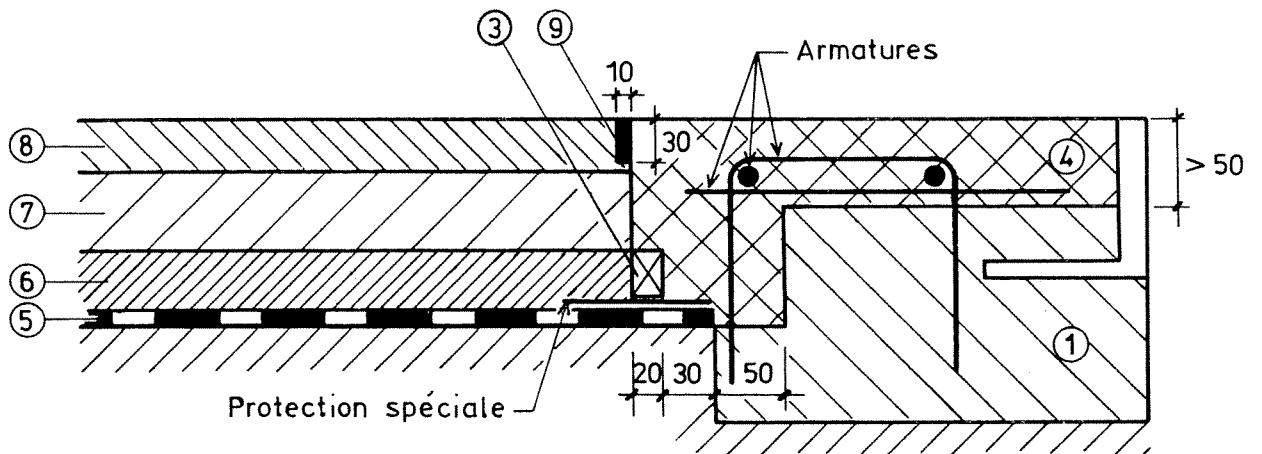


Fig. 8.23.d

Raccordement à l'aide d'un béton étanche résistant
aux sels de déneigement

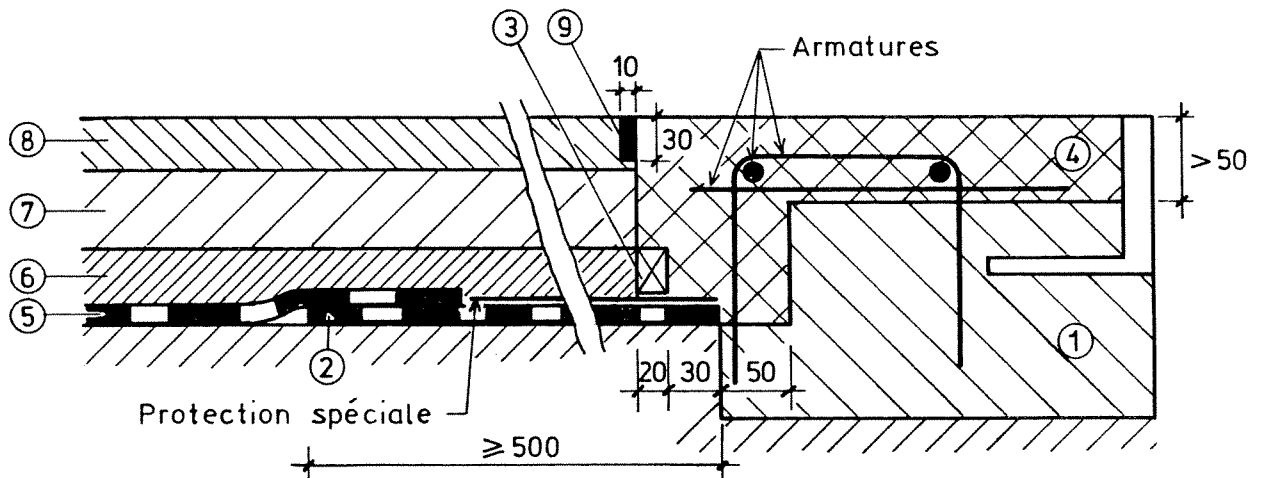


Fig. 8.23.e

Raccordement à l'aide d'un béton étanche résistant
aux sels de déneigement
- variante -

Note : ① - ⑨ sont décrits dans le § 8.13.2.2

cotes en mm

Fig. 8.23. (2e suite)
Placement du joint avant la pose du revêtement

SOC 15.244/1

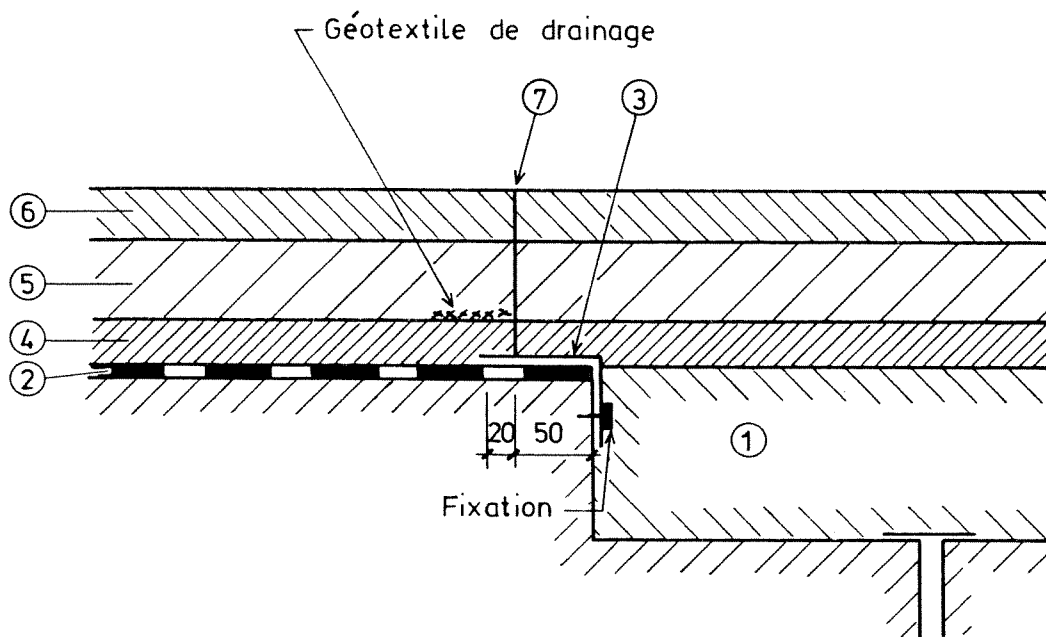


Fig. 8.24.a

Pose du revêtement

Note: ① - ⑦ sont décrits dans le § 8.13.2.3

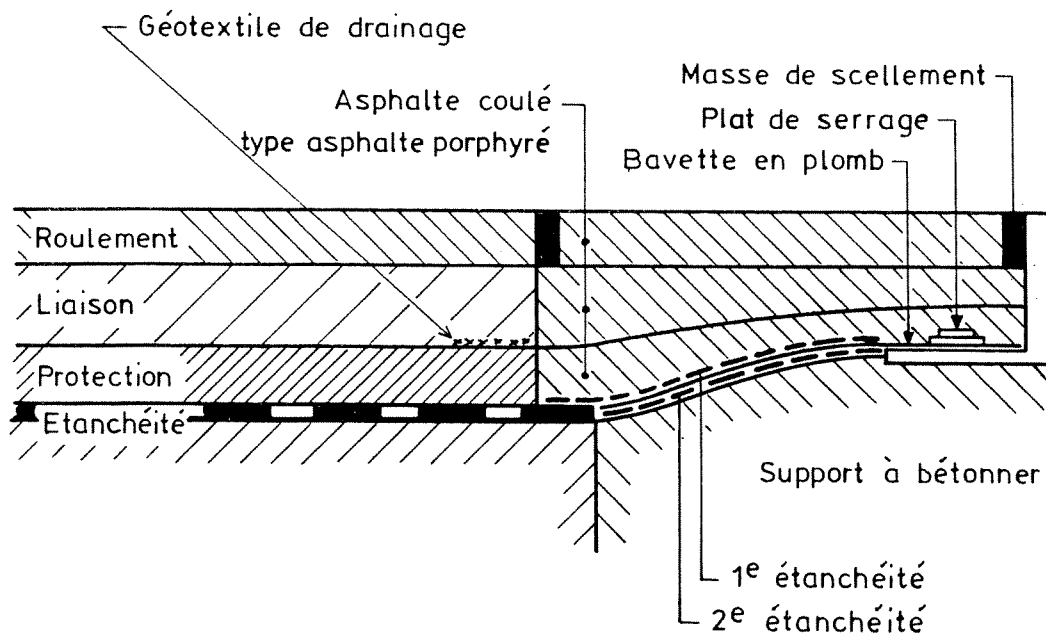


Fig. 8.24.b

Comblement de la cavité à côté du joint à l'aide d'asphalte porphyré

Fig. 8.24.

Placement du joint après la pose du revêtement

- Le raccord du revêtement au joint est généralement moins difficile à réaliser **lorsque le revêtement est posé après le placement du joint**. La qualité de ce raccord laisse cependant souvent à désirer. En effet, vu que la finisseuse doit monter sur le joint, et que le compactage est difficile à y réaliser, les caractéristiques mécaniques du revêtement ainsi que sa planéité risquent d'être médiocres aux abords du joint, ce qui peut en conséquence engendrer d'importantes actions dynamiques.

En outre, une fois posé, le joint constitue un point obligé du profil en long. Il peut, dès lors, s'avérer nettement plus difficile de procéder à des corrections de ce profil, s'il y a lieu. Ce qui peut amener à surcharger inutilement l'ouvrage en cas d'erreur dans la pose du joint. Enfin, dans le cas des ponts biais, il est nettement plus délicat de maîtriser l'implantation a priori du joint surtout si la route présente un profil en toit.

Il vaut donc mieux réserver ce mode d'exécution aux ponts où ces facteurs (propriétés mécaniques et profils) n'ont que peu d'influence (par exemple ponts à faible trafic). On peut toutefois améliorer la qualité de ces abords en remplaçant la bande de revêtement adjacente au joint par de l'asphalte coulé.

Nous présentons ci-dessous une courte analyse comparative des divers modes de raccordement.

8.13.2.1. *Pose du revêtement après le joint – continuation des couches bitumineuses jusqu'au joint (figure 8.23. a, b et c)*

C'est la solution de raccordement la plus simple. Toutefois, outre une pose difficile, **les matériaux bitumineux sont difficiles à compacter aux abords immédiats du joint**. Pour y arriver, le compacteur doit se déplacer parallèlement au joint ce qui implique de nombreuses manœuvres risquant d'endommager le joint. Aux abords immédiats du joint, le compactage devra être complété par de petits engins (plaque vibrante par exemple). Malgré cela, le résultat final notamment dans les coins risque d'être médiocre. La qualité de la compacité sera encore plus aléatoire si du fait des variations de niveau du support, les couches sont posées en épaisseur variable et sur support incliné (figure 8.23. b).

La figure 8.23.c illustre les dispositifs que l'on peut adopter pour améliorer la qualité du revêtement aux abords du joint. La largeur du revêtement à remplacer est égale à la largeur de la zone dénivelée du support sans toutefois être inférieure à 300 mm. Il est souhaitable d'enlever la totalité des couches bitumineuses compactées surmontant l'étanchéité. Cela peut se faire par décapage lorsque la couche

de protection est en asphalte coulé à condition d'avoir prévu un interface de non adhérence. En ce qui concerne les précautions à prendre pour ne pas blesser le complexe étanchéité-protection (plat de protection, sciage des couches) on se référera au § 8.13.2.3.b et e. Par contre, lorsque la couche de protection est en béton bitumineux compacté, en vue de ne pas blesser l'étanchéité, il faudra recourir au fraisage, la profondeur du fraisage devant dans tous les cas rester à plus de 10 mm au-dessus du niveau supérieur de l'étanchéité. Les recommandations concernant le remplissage figurent du § 8.13.2.3.j.).

La solution de la figure 8.23.a permet l'installation d'un réel dispositif de collecte des eaux de **drainage** des couches du revêtement. Dans le cas des figures 8.23.b et c, l'installation d'un tel dispositif n'a pas de sens puisqu'il se situerait ici au point haut. On peut cependant envisager le collage d'un géotextile de drainage au point bas du niveau supérieur de la protection.

Le raccord de l'étanchéité se fait conformément aux indications des § 4.3.2.5.2. et 4.3.3.5.2.

En cas d'orniérage du revêtement, et quel que soit le système de raccordement adopté, les dénivellations entre le revêtement et le joint, engendreront des actions dynamiques importantes susceptibles de diminuer de manière sensible la durée de vie du joint ainsi que celle du revêtement adjacent.

8.13.2.2. *Pose du revêtement après le joint et contre une poutre en béton solidaire du joint (figure 8.23.d)*

Cette solution nécessite l'exécution des phases suivantes :

- a) Bétonnage du support (1) en y prévoyant l'ancrage des armatures du béton de la poutre (4). Le cas échéant l'espace (1) peut être bétonné à la phase e) en même temps que la poutre (4) ;
- b) pose de l'étanchéité (5) ainsi que de sa protection spéciale destinées à être encastrées dans le béton étanche de la poutre (4) ;
- c) pose du dispositif de drainage et fixation provisoire de celui-ci sans abîmer l'étanchéité (3) ;
- d) pose de la couche de protection (6) ;
- e) réalisation de la poutre à l'aide d'un béton étanche et résistant aux sels de déneigement (4). Les épaisseurs et largeurs minimales indiquées à la figure 8.23.d doivent être respectées. Elles correspondent à une épaisseur technologique minimale et à un recouvrement minimal de l'étanchéité principale du pont. Le cas échéant, on bétonne ensemble l'espace (4) et l'espace (1) ;

- f) Mise en œuvre des autres couches du revêtement (7) (8), en ménageant une gorge à la limite de la couche de roulement. Les considérations du 1^{er} alinéa du § 8.13.2.1. concernant le compactage sont valables ;
- g) scellement de la saignée à l'aide d'une masse de scellement (9).

La figure 8.23.e présente une variante de ce type de raccord. Moyennant la pose préalable d'une pièce de raccord de l'étanchéité (2), elle permet la réalisation complète de la poutre en béton avant celle de toutes les couches du revêtement.

Ces solutions permettent le drainage du revêtement quel que soit le niveau de l'aile horizontale du joint. La poutre accroît la raideur du joint et à ce titre peut augmenter considérablement sa résistance aux chocs et aux actions dynamiques. Par contre, ce système réduit, voire supprime, la démontabilité du joint. L'efficacité de l'étanchéité dépend des qualités effectives du béton utilisé à cet effet (voir à ce sujet la remarque préliminaire du chapitre 8a).

8.13.2.3. *Pose du joint après le revêtement et raccordement en asphalte coulé (voir figure 8.24.)*

Cette solution nécessite l'exécution des phases suivantes :

- a) Pose de l'étanchéité (2) jusqu'au bord de l'encoche (1) réservée à la pose du joint. En vue de garantir sa qualité vraiment jusqu'au bord de l'encoche, il est préférable de la prolonger légèrement au-delà et de la découper ensuite au ras de l'encoche ;
- b) Mise en place et fixation d'une plaque de protection (3). Dans le cas de la figure 8.24. a, il s'agit d'une cornière. Cette plaque est destinée à éviter d'abîmer l'étanchéité lors du sciage du revêtement (7).

En vue d'éviter toute dégradation à l'étanchéité lors des manipulations, la plaque sera recouverte par un matériau souple (tel le caoutchouc...) sur la face en contact avec l'étanchéité. La plaque doit être pourvue sur ses deux faces d'un dispositif non adhérent permettant un enlèvement ultérieur aisé. La fixation de la plaque ne peut endommager l'étanchéité. La plaque est repérée avec précision en vue du sciage ultérieur du revêtement.

- c) Comblement provisoire de l'encoche du joint (1) jusqu'au niveau de l'étanchéité. Ce comblement peut s'effectuer à l'aide, par exemple, d'un mélange de sable et de pierrailles ou de tout autre matériau permettant une mise en œuvre correcte de couches bitumineuses compactées.

- d) Exécution en continu des couches supérieures du revêtement (4), (5), (6) – y compris éventuellement le géotextile de drainage – avec mesures transversales en plusieurs points de l'épaisseur des couches surmontant la plaque de protection (3) en vue de déterminer les profondeurs de sciage.
- e) Sciage des couches supérieures du revêtement (7). Pour éviter toute détérioration de l'étanchéité, il vaut mieux arrêter le trait de scie à 20 mm de celle-ci et achever la découpe de la couche de protection à l'aide d'un marteau piqueur.
- f) Enlèvement des couches bitumineuses surmontant l'encoche du joint ainsi que des matériaux de remplissage de celle-ci.
- g) Enlèvement de la plaque de protection (3) sans blesser l'étanchéité.
- h) Placement du joint et bétonnage du support au droit de l'encoche. Les caractéristiques de ce support (pente, planéité) seront telles qu'il se prête à la pose d'une étanchéité.
- i) Pose d'une double étanchéité du même type que celle du pont. S'il s'agit de feuilles préfabriquées, celles-ci résisteront à la pose d'asphalte coulé. La deuxième couche est placée en recouvrement de l'étanchéité principale. Du côté du joint, le raccord de l'étanchéité se fait comme décrit aux § 4.3.2.5.2. ou 4.3.3.5.2.
- j) Remplissage de la cavité restante à l'aide de couches d'asphalte coulé type «asphalte porphyré» posées en épaisseur maximale de 50 mm. Toutefois pour la première couche en contact avec une feuille préfabriquée, cette épaisseur ne peut dépasser 20 mm. La couche supérieure a une épaisseur constante de 30 mm. La pose de la couche suivante ne peut se faire que lorsque la température superficielle de la couche sous-jacente est inférieure à 60° C. La dernière couche est gravillonnée.
- k) Des gorges de 30 mm de profondeur et de 10 mm de large sont réalisées à l'aide de fourrures amovibles, dans la dernière couche, à sa jonction avec le revêtement existant et avec le joint de dilatation. Ces gorges sont remplies de masse de scellement.

Ce type de raccord ne permet que l'utilisation d'un géotextile de drainage au niveau supérieur de la couche de protection. Sa susceptibilité à l'orniérage est élevée. Au cas où celui-ci se produirait, les dénivellations entre revêtement et bord du joint occasionneront à ce dernier des actions dynamiques importantes susceptibles de diminuer sa durée de vie.

Pour cette raison, cette solution ne peut être appliquée dans les zones où il y a risque d'orniérage (zones ou chaussées soumises à un trafic important) que lorsque l'épaisseur totale des couches en asphalte coulé reste inférieure à 120 mm. Par contre, ce mode de raccordement s'accommode d'une certaine démontabilité du joint.

8.13.2.4. *Pose du joint après le revêtement et raccord à l'aide d'une poutre en béton*

Ce béton doit être étanche et résister aux sels de déneigement (cf. remarques préliminaires au chapitre 8a).

Dans ce cas, les phases a) à g) du § 8.13.2.3. sont identiques. Elles sont suivies des phases a), c), e), g) du § 8.13.2.2.

Les commentaires relatifs à ce mode de raccordement sont identiques à ceux du § 8.13.2.2.

8.14. **RACCORD ENTRE LE REVETEMENT DU PONT ET CELUI DE LA CHAUSSEE ADJACENTE**

(concerne toutes les couches sauf le béton armé continu)

8.14.1. **Principes**

- L'épaisseur de la couche supérieure doit être maintenue constante sur toute la surface de pose (cf. § 6.3.1.).
- Lorsque du côté chaussée hors pont, des couches doivent être exécutées en épaisseur variable, on veillera à appliquer les recommandations du § 6.5. relatives au reprofilage (notamment : le respect des épaisseurs nominales des matériaux et l'absence de siflet : cf. figure 6.2.).

8.14.2. **Exemples de raccordement**

8.14.2.1. *Cas où il y a un joint de dilatation*

L'étanchéité et sa protection sont réalisées du côté extérieur du pont comme prévu aux § 4.3.2.5.5. et 4.3.3.5.5. en suivant les recommandations du § 8.13. en ce qui concerne le raccord au joint.

On place ensuite les couches supérieures telles que prévues hors pont en respectant les principes du § 8.14.1. et les recommandations du § 8.13.

8.14.2.2. *Cas où il y a une dalle souple entre la culée et la dalle flottante*

Comme déjà signalé aux § 4.3.2.5.5. et § 4.3.3.5.5., l'étanchéité du pont est prolongée sur environ 500 mm au-delà de la dalle souple. Il en va de même de sa couche de protection qui s'arrête au même endroit. Les autres couches du revêtement sont exécutées en observant les principes généraux ci-dessus (§ 8.14.1.). On veillera toutefois à procéder par escalier de manière à ce que l'extrémité des couches ne se superposent pas (décalage 200 mm minimum).

8.14.2.3. *Cas où il n'y a ni joint de dilatation, ni dalle souple*

L'étanchéité est rabattue sur la face verticale du pont comme signalé aux § 4.3.2.5.5. et § 4.3.3.5.5. Les autres couches du revêtement sont arrêtées à la limite du pont, ou éventuellement prolongées si elles sont identiques à celles prévues en dehors du pont.

Dans tous les cas, il y a toujours risque de fissuration à cet endroit il est donc souhaitable de prévoir dès l'origine dans la couche supérieure, une saignée (profondeur ± 30 mm) à sceller à l'aide de matériaux adéquats.

8.15. **REPERES DE NIVELLEMENT, REGARDS, BOITIERS POUR REPERES ET AUTRES ELEMENTS LOCAUX DE DISCONTINUTE**

8.15.1. **Principes**

Il vaut toujours mieux **prévoir ces discontinuités locales dans la zone des trottoirs** plutôt que dans la chaussée car elles gênent toujours le trafic. En outre, l'absence d'actions dues au trafic peut réduire sensiblement les exigences de pose.

Indépendamment de sa localisation, l'élément de discontinuité doit répondre aux exigences suivantes :

- permettre la **continuité de l'étanchéité** ;
- **être réglable en hauteur** de telle manière que le niveau supérieur de l'élément coïncide parfaitement avec le niveau du revêtement adjacent (sauf pour les repères de nivellement) ;
- **perturber le moins possible la pose des couches du revêtement.**

Nous avons rassemblé ci-dessous quelques considérations d'ordre général, car il est impossible d'entrer dans le détail, chaque cas étant spécifique.

8.15.2. Quelques recommandations

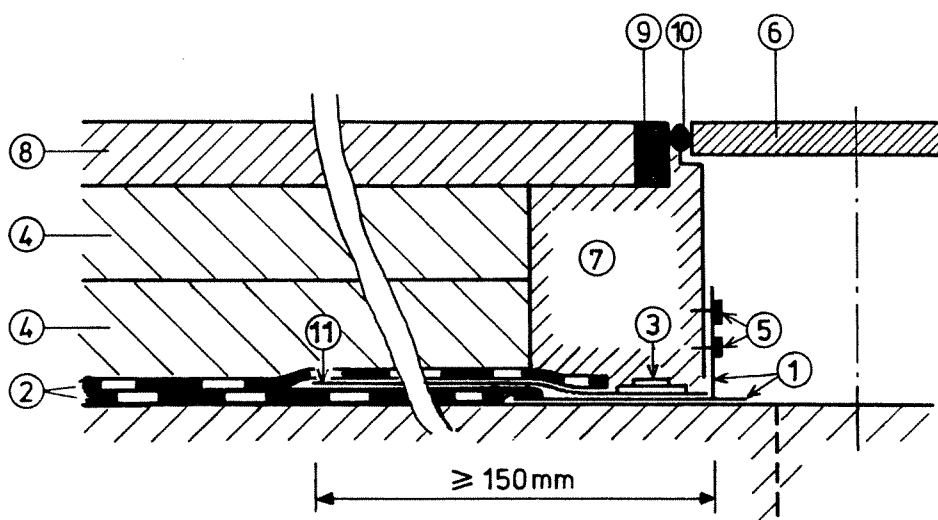
Lorsque le choix est possible, il est préférable de placer **les repères de nivellement** à la partie supérieure des socles d'ancrage.

Si l'étanchéité doit être percée, les repères de nivellement seront toujours installés préalablement à l'étanchéité de façon à permettre à l'étancheur d'exécuter un raccord convenable.

A l'avenir, il serait souhaitable de concevoir des repères munis d'une bride métallique et équipés d'une bavette en plomb permettant un raccord correct de l'étanchéité suivant ce qui est exposé au § 4.3.2.5.2. ou 4.3.3.5.2.

En ce qui concerne **les autres éléments de discontinuité**, ceux-ci doivent permettre un raccord efficace de l'étanchéité principale de l'ouvrage. Pour ce faire, une aile horizontale rigide (métallique ou plastique) solidaire de l'élément et munie d'une bride de serrage permettant la fixation d'une bavette en plomb est recommandée. En outre, au sein même de l'élément, l'étanchéité doit également être assurée, soit par la conception même de l'élément soit par des dispositions spéciales prises à cet égard. Lorsque l'élément de discontinuité forme cuvette, on veillera en outre à assurer l'évacuation des eaux qui s'y seraient infiltrées (gargouilles de drainage — § 8.11).

En ce qui concerne la **pose du revêtement et la mise à niveau correcte de la partie supérieure de l'élément**, on peut s'inspirer de la procédure suivante : (voir figure 8.25.).



Note : ① - ⑪ sont décrits dans le § 8.15.2

Fig. 8.25.

Raccord du revêtement à un élément local de discontinuité

SOC 15.246/1

- pose et fixation de la base de l'élément (1), munie de sa bride de serrage (3). La base dépassera le moins possible le niveau du support de manière à gêner le moins possible la mise en place du revêtement ;
- «sandwichage» de la bavette en plomb (11) dans le bicouche d'étanchéité (2) ;
- pose des couches du revêtement (4) à l'exception de la couche supérieure. Ces couches sont exécutées jusqu'à une dizaine de centimètres de l'élément de manière à permettre son réglage en hauteur. Ces couches peuvent également être exécutées en continu, les parties à dégager étant enlevées juste après pose et remplacées par un coffrage provisoire ;
- ajustement du niveau de la partie supérieure de l'élément (5) et pose de celui-ci (6) ;
- comblement de la cavité entre l'élément et les couches inférieures du revêtement (voir ci-dessous) (7) ;
- exécution de la couche supérieure du revêtement (8) jusque contre l'élément y compris le raccord à l'aide d'une masse de scellement (9) ;
- enduisage des bords du couvercle à la graisse (10).

Les matériaux à utiliser pour le comblement de cette cavité sont fonction de la localisation de l'élément : si celui-ci se trouve dans la chaussée, des propriétés mécaniques élevées sont requises ; on utilisera dès lors de l'asphalte coulé ou du béton (voir à ce sujet § 8.13.2.3. et 8.13.2.4.) ; l'exiguité de l'espace à combler ne permet pas en effet le compactage correct des matériaux bitumineux. Par contre si on se trouve dans la zone de trottoir, les propriétés mécaniques de la zone comblée ont moins d'importance et on peut utiliser les mêmes matériaux que dans les zones adjacentes (par exemple sable stabilisé, bétons bitumineux etc...).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Ministère des Travaux publics,
Renforcement, réparation et entretien des ouvrages d'art – Répertoire de recommandations pour l'établissement des documents d'adjudication.
Bruxelles, mai 1984
2. C. De Backer,
Les températures dans les structures routières.
La Technique Routière n° 2/1980, 1-29.
Bruxelles, juin 1980
3. Institut Belge de Normalisation,
Actions sur les constructions – Ouvrages d'Art Routiers.
Projet norme NBN B03-101.
4. Ministère des Travaux publics,
Cahier des charges type 150 – Edition 1978.
Bruxelles, 1978.
5. A. de Henau,
Véhicules et circulation dans le cadre du dimensionnement des chaussées.
La Technique Routière, XII/1, 1-19.
Bruxelles, mars 1967.
6. A. de Henau,
Analyse de la circulation dans le cadre du dimensionnement des chaussées.
La Technique Routière, XII/4, 35-54.
Bruxelles, décembre 1967.
7. Ministère des Travaux publics,
Possibilités et modalités de franchissement des ponts par des transports exceptionnels.
Bruxelles, février 1978.

8. Centre de Recherches routières,
Code de bonne pratique pour le dimensionnement des chaussées à revêtement hydrocarboné.
Recommandations CRR-R 49/83 du Groupe de Travail «Dimensionnement des chaussées» du Centre de Recherches routières.
Centre de Recherches routières, Bruxelles, 1984.
9. C. Clauwaert,
Deux méthodes de calcul en vue de la détermination des forces dynamiques exercées sur un profil routier par un véhicule à essieu simple, et leur vérification expérimentale.
Compte rendu de recherche CR 24/84.
Centre de Recherches routières, Bruxelles, 1984.
10. C. De Backer,
Revêtements hydrocarbonés de ponts routiers.
La Technique Routière, XXV/3, 20-44.
Bruxelles, 1980.
11. V. Veverka et C. De Backer,
Premiers résultats de recherche sur les revêtements hydrocarbonés des ponts routiers.
La Technique Routière, XXIII/3, 17-32.
Septembre, 1978.
(Document présenté sous le titre «Belgian Inspection and Research of Asphalt Bridge Pavements and Waterproofing Systems» 57^e Réunion Annuelle du T.R.B., Washington, 16-20 janvier 1978).
12. C. De Backer,
Influence des vibrations des ponts routiers sur la fatigue de leurs revêtements bitumineux.
Symposium Rilem «Long-term Observation of Concrete Structures».
Budapest, septembre 1984.
13. Ministère des Travaux publics – Centre de Recherches routières – Centre Belge d'Etude des Matières Plastiques et des Caoutchoucs,
Planches expérimentales d'étanchéité de ponts – Essais sur route – Première phase des résultats.
Bruxelles, 1982.
14. L. Francken,
Méthode d'essai pour la détermination de la résistance au cisaillement de matériaux hydrocarbonés coulés.
Ve Conférence Routière.
Budapest, 26-29 octobre 1982.

- 15.** C. De Backer,
Catalogue des dégradations des revêtements hydrocarbonés d'ouvrages d'art. Classification, causes et remèdes.
Compte rendu de recherche CR 8/78.
Centre de Recherches routières, Bruxelles 1978.
- 16.** C. Clauwaert et R. Van Assche,
Joints de ponts – Entretien et réparation des joints de ponts.
Cours de perfectionnement pour chefs de chantiers.
Fédération Nationale des Entrepreneurs Routiers.
Bruxelles, janvier 1984.
- 17.** N.J. Tabchi,
Durées de vie en fatigue des revêtements non adhérents des ponts.
Travail de fin d'études.
Université Libre de Bruxelles, 1983-1984.
- 18.** Service des Relations Publiques – Bureau des Ponts,
Réduction du nombre de joints dans les ouvrages d'art.
Ministère des Travaux publics, Bruxelles.
- 19.** Comité Euro-International du Béton,
Système International de Règlementation Technique unifiée des Structures. Volume II – Code-modèle C.E.B.-F.I.P. pour les structures en béton.
Fédération Internationale de la précontrainte, 1978.
- 20.** Routes Nationales Suisses,
Projets standard de ponts – Détails de construction – D.340.
Département Fédéral de l'Intérieur.
Berne, 1973.
- 21.** M.B. Gorski,
Etude de l'uni longitudinal des revêtements routiers.
Compte rendu de recherche CR 15/81.
Centre de Recherches routières, Bruxelles, 1981.
- 22.** C. Clauwaert,
Note interne SOC 2/83.
Centre de Recherches routières.

- 23.** Centre de Recherches routières,
Mode opératoire – Essai à la tache de sable – Détermination de la profondeur moyenne de nivellement des stries des revêtements en béton de ciment.
Méthode de Mesure C.R.R.-MF 32/69.
Recommandation du Groupe de travail «Réalisation de revêtements en béton à rugosité élevée et mécanisation de la mise en œuvre».
Centre de Recherches routières, Bruxelles 1969.
- 24.** Ministère des Transports – Direction des Routes,
S.T.E.R.,
Surfaçage, étanchéité et couches de roulement des tabliers d'ouvrages d'art.
Paris, 1981.
- 25.** Ministère des Travaux publics – Institut du Génie Civil – Université de Liège,
Assemblage, renforcement, restauration et entretien des structures en béton à l'aide de liants résineux réactifs.
C.E.P. – Séminaire International, Liège, 1980.
- 26.** Centre Belge d'Etude des Matières Plastiques,
Assemblage – Renforcement – Restauration et entretien des structures en béton à l'aide de liants hydrauliques modifiés.
Liège, 1985.
- 27.** Transportation Research Board,
Durability of Concrete Bridge Decks.
National Cooperative Highway Research Program – Synthesis of Highway Practice, 57.
Transportation Research Board, Washington D.C., 1979.
- 28.** Centre Belge d'Etudes des Matières Plastiques et des Caoutchoucs,
Groupe de travail «Essais sur membranes d'étanchéité de tabliers de ponts en béton»,
Document de travail n° 11.
Liège, 9 avril 1979.
- 29.** L. Francken,
Viscosité des chapes d'étanchéité : paramètre important de la conception des revêtements.

- Colloque International sur la gestion des ouvrages d'art : surveillance, entretien et réparations des ponts routiers et ferroviaires, 13-17 avril 1981, Bruxelles-Paris.
Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Volume II, 565-572, Paris, 1981.
- 30.** Forschungsgesellschaft für das Strassenwesen,
Arbeitsgruppe Asphalt- und Teerstrassen,
Merkblatt für Bituminöse Brückenbeläge auf Beton.
Köln, 1976.
- 31.** J. André, A. Cheymol, M. Sors,
Contrôle du collage des feuilles d'étanchéité au support – Expérimentation d'un appareil à ultrasons.
Bulletin de Liaison du Laboratoire des Ponts et Chaussées, n° 115, septembre-octobre 1981, inf. 2613.
Paris, 1981.
- 32.** J.C. Demars et P.H. Bourcy,
Chapes d'étanchéité – Contrôle non-destructif et dans le temps de leur efficacité.
VI Conférence Internationale de l'A.I.E.
Association Internationale de l'Etanchéité, Londres, 1986.
- 33.** Centre de Recherches routières,
Code de bonne pratique pour la fabrication et la pose des bétons hydrocarbonés.
Recommandations C.R.R.-R 54/84 du groupe de travail «Fabrication et pose des bétons bitumineux».
Centre de Recherches routières, Bruxelles, 1984.
- 34.** F. Choquet,
Identification des liants dans les chapes d'étanchéité.
Compte rendu de recherche CR 23/84.
Centre de Recherches routières.
- 35.** M. B. Gorski,
Détermination du poids spécifique apparent des enrobés hydrocarbonés par voie radioactive en cours de mise en œuvre.
La Technique Routière, XX/2, 1-27.
Bruxelles, juin 1975.

- 36.** Centre de Recherches routières,
Code de bonne pratique pour l'exécution de revêtements en béton de ciment.
Recommandation, C.R.R.-R 55/85 du groupe de travail «Exécution de revêtements en béton de ciment».
Centre de Recherches routières, Bruxelles, 1985.
- 37.** Centre de Recherches routières,
Code de bonne pratique pour l'exécution d'un revêtement en béton de ciment clouté entre coffrages fixes.
Recommandations C.R.R.-R 41/78 du groupe de travail «Grenailage de revêtements en béton de ciment»
Centre de Recherches routières, Bruxelles, 1978.
- 38.** Centre de Recherches routières,
Code de bonne pratique pour le cloutage du béton asphaltique.
Recommandations C.R.R. - R 44/79 du groupe de travail «Grenailage des revêtements en béton hydrocarboné»
Centre de Recherches routières, Bruxelles, 1980.
- 39.** Centre de Recherches routières,
Code de bonne pratique des enduits superficiels.
Recommandations C.R.R. - R 45/81 du groupe de travail «Enduits superficiels»
Centre de Recherches routières, Bruxelles, 1981.
- 40.** L. Hubrecht,
Scellement des joints de routes en béton de ciment. Etude d'information.
Compte rendu de recherche CR 7/77.
Centre de Recherches routières, Bruxelles, 1978.
- 41.** Ministère des Travaux publics – Services Généraux,
Pierre naturelle, cordon type sous garde-corps.
Cirulaire 576.37 du 30 juin 1969, Bruxelles.

LISTE DES FIGURES

N°	Légendes	Pages
2.1.	Coupes types d'un revêtement de ponts en chaussées et principaux types de matériaux	4
3.1. et 3.2.	Implantation transversale du dispositif d'évacuation des eaux au niveau de la couche supérieure et de l'étanchéité – schéma de principe –	23
3.3.	Dispositif d'évacuation vers l'extérieur de l'eau d'infiltration au niveau de l'étanchéité – schéma de principe –	24
3.4.	Pontage d'un creux du support par une feuille pré-fabriquée	29
3.5.	Texture du support	31
3.6.	Défauts de planéité du support	37
3.7.	Préparation du support en vue d'un ragréage	45
4.1.	Détail d'un recouvrement dans la couche d'étanchéité	59
4.2.	Exemples de raccordement d'une étanchéité en asphalte coulé à un relevé	66
4.3.	Raccordement de l'asphalte coulé à la bride métallique d'un point singulier	68
4.4.	Percement de l'asphalte coulé par ancrages	68
4.5.	Pontage d'un joint du support	68
4.6.	Extrémité de l'étanchéité dans le sens axial du pont	68
4.7.	Exemple de raccordement de feuilles soudées à un relevé	76
4.8.	Exemple de raccordement de feuilles collées à un relevé	77
6.1.	Optimisation du reprofilage dans le sens longitudinal – détail des opérations –	104, 105
6.2.	Exemple de reprofilage	109
7.1.	Interruption du béton armé continu devant un pont	115
8.1.	Accessoires de chaussée et évacuation des eaux	122
8.2.	Éléments de la corniche extérieure	124
8.3.	Relevé de corniche réalisé en deux phases	124
8.4.	Niveaux de relevé de corniche	126
		183

8.5.	Exemples de corniches extérieures	128
8.6., 8.7. 8.8. et 8.9.	Détails de corniche extérieure	130, 131
8.10.	Corniches intérieures : schémas de principe	134
8.11.	Exemple de socle ne nécessitant ni percement ni interruption de l'étanchéité	136
8.12.	Socles d'ancrages solidaires de la dalle de platelage	137
8.13.	Coupes types d'un trottoir	139
8.14.	Schéma de principe du caniveau	143
8.15.	Coupe type de la couche de surface d'un filet d'eau en asphalte coulé	145
8.16.	Tuyau de drainage – Protection classique	153
8.17.	Profilé d'évacuation – Protection spéciale	153
8.18.	Gargouille de drainage avec bride de serrage et bavette en plomb placée comme coffrage perdu – Support dénivellé	154
8.19.	Gargouille de drainage en plomb placée dans un évidement de la dalle – Sandwichage par l'étanchéité – Support non dénivellé	154
8.20.	Gargouille (dispositif simplifié)	156
8.21.	Coupe transversale au droit d'un avaloir à évacuation verticale – Support horizontal	160
8.22.	Coupe transversale au droit d'un avaloir à évacuation latérale – Support dénivellé	160
8.23.	Placement du joint avant la pose du revêtement	164, 165, 166
8.24.	Placement du joint après la pose du revêtement	167
8.25.	Raccord du revêtement à un élément local de discontinuité	174

LISTE DES TABLEAUX

N°	Légendes	Pages
2.1.	Températures (° C) des revêtements de ponts à dalle massive (≥ 700 mm)	6
2.2.	Liens principaux entre actions et dégradations	11
2.3.	Structure d'un revêtement de pont	13
2.4.	Délais conseillés de pose des diverses couches du revêtement	18
3.1.	Comparaison des diverses formulations pour mortiers de ragréage	44
4.1.	Comparaison des produits d'étanchéité	52, 53
4.2.	Choix du type d'étanchéité	54
4.3.	Caractéristiques de fabrication et de pose des asphaltes coulés	62
5.1.	Comparaison des caractéristiques des matériaux pour couches de protection	88
5.2.	Principales dégradations des couches de protection en béton bitumineux lors de leur mise en œuvre sur une étanchéité en feuilles préfabriquées	96
6.1.	Rayons de courbure minimaux du profil en long	102

TABLE DES MATIERES

	<u>Pages</u>
AVANT-PROPOS	I, II, III, IV, V
1. INTRODUCTION	1
2. LE REVETEMENT	3
2.1. Descriptif	3
2.1.1. Dans la partie «chaussée»	3
2.1.2. Dans la zone «hors chaussée»	3
2.2. Les actions et leurs effets	5
2.2.1. Les actions climatiques	5
2.2.1.1. La température	5
2.2.1.2. L'eau et le gel	5
2.2.2. Les actions mécaniques	7
2.2.2.1. Action directe des véhicules	7
2.2.2.2. Actions exercées par le support	8
2.2.2.3. Actions dues au tassement des remblais adjacents au pont	9
2.2.3. Les actions physico-chimiques	9
2.2.4. Les dégradations	10
2.3. Conception	12
2.3.1. La structure	12
2.3.2. Les matériaux	12
2.3.3. Les épaisseurs	14
2.3.4. Les liaisons entre couches et au support	16
2.3.4.1. Liaisons entre couches du revêtement	16
2.3.4.2. Liaison du revêtement au support	16
2.4. Délais d'exécution	17
3. LE PONT ET SON TABLIER	19
3.1. La conception	19
3.1.1. La conception de l'ouvrage	19
3.1.2. La conception de la dalle de platelage	20
3.1.2.1. Le profil en long	20
3.1.2.2. Parallélisme des pentes transversales du support et de la surface du revêtement	21
3.1.2.3. L'évacuation des eaux et les points bas du support	21

3.1.2.4. Les pentes	25
3.1.2.5. Les seuils et relevés	25
3.1.2.6. Les ancrages des garde-corps, pierres bleues et glissières de sécurité	25
3.1.2.7. Les jauges de contrôle de l'efficacité de l'étanchéité dans le temps	26
3.2. Exigences relatives à la dalle de platelage en tant que support du complexe étanchéité-revêtement	26
3.2.1. Le respect des profils	27
3.2.1.1. But	27
3.2.1.2. Modes de mesure	27
3.2.1.3. Critères	28
3.2.2. La planéité locale	28
3.2.2.1. But	28
3.2.2.2. Modes de mesure	29
3.2.2.3. Critères	29
3.2.3. La texture	30
3.2.3.1. But	30
3.2.3.2. Modes de mesure	30
3.2.3.3. Critères	30
3.2.4. La résistance superficielle du béton	31
3.2.4.1. But	31
3.2.4.2. Modes de mesure	31
3.2.4.3. Critères	32
3.2.5. La fissuration du support	32
3.2.5.1. But	32
3.2.5.2. Mode de mesure	32
3.2.5.3. Critères	32
3.3. L'exécution de la dalle de platelage	32
3.3.1. Le respect des profils et de la planéité locale	33
3.3.1.1. Grandes dénivellations	33
3.3.1.2. Dénivellations moyennes et planéité locale	33
3.3.2. La texture et le résistance superficielle du béton	34
3.3.3. La fissuration du support	35
3.3.4. Exécution aux abords des points singuliers du support	35
3.3.5. Jauges de contrôle de l'efficacité de l'étanchéité dans le temps	36
3.4. Les traitements spéciaux de la dalle de platelage après bétonnage	36
3.4.1. Les profils	37
3.4.2. La planéité	37

3.4.3. La texture	38
3.4.3.1. Les creux	38
3.4.3.2. Les nids de graviers	38
3.4.3.3. Les aspérités	38
3.4.3.4. La rugosité	38
3.4.4. La résistance superficielle du béton	39
3.4.5. La fissuration du béton	39
3.4.6. Les nettoyages et interventions spéciales	40
3.4.6.1. Coulis d'injection	40
3.4.6.2. Taches d'huile ou de mazout	40
3.4.6.3. Arasement des fers à béton et autres tuyaux	40
3.4.7. Le ragréage de la dalle de platelage	41
3.4.7.1. Matériaux utilisables	41
3.4.7.2. Choix des matériaux et systèmes de ragréage	42
3.4.7.3. Exécution du ragréage	43
3.4.7.4. Contrôles	45
4. LA COUCHE D'ETANCHEITE	47
4.1. Types d'étanchéité	47
4.1.1. L'asphalte coulé	48
4.1.2. Les feuilles préfabriquées	49
4.1.2.1. Les feuilles à base de bitume non modifié	49
4.1.2.2. Les feuilles à base de bitume-polymère	49
4.1.2.3. Les produits synthétiques (généralement non armés) tels le PCV, ou le butyl	50
4.1.3. Les résines coulées en place	50
4.2. Choix de l'étanchéité	50
4.2.1. Choix du type d'étanchéité	50
4.2.1.1. Procédure de choix	51
4.2.1.2. Principaux facteurs influençant le choix de l'étanchéité	51
4.2.1.3. Domaines préférentiels d'utilisation des divers types d'étanchéité	55
4.2.2. Choix de la composition ou du produit	57
4.3. Mise en œuvre de l'étanchéité	58
4.3.1. Règles communes à respecter pour la pose de tout type d'étanchéité	58
4.3.1.1. Conception de l'exécution de l'étanchéité	59
4.3.1.2. Organisation de la réalisation de l'étanchéité	59
4.3.1.3. Etat du support	60

4.3.2. Les asphaltes coulés	60
4.3.2.1. Fabrication et transport	60
4.3.2.2. Travaux préliminaires à la pose de l'asphalte coulé	61
4.3.2.3. Conditions climatiques et état du support à la pose	64
4.3.2.4. Pose de l'asphalte coulé sur support plan	64
4.3.2.5. Les raccords aux points singuliers	65
4.3.3. Les feuilles préfabriquées	70
4.3.3.1. Travaux préliminaires à la pose des feuilles	70
4.3.3.2. Conditions climatiques de pose de feuilles	71
4.3.3.3. La pose des feuilles sur support plan	71
4.3.3.4. Les joints entre lés	73
4.3.3.5. Les raccords aux points singuliers	74
4.3.4. Les résines	78
4.3.4.1. Fabrication	78
4.3.4.2. Conditions climatiques à la pose	78
4.3.4.3. Les travaux préliminaires à la pose de la couche d'étanchéité	79
4.3.4.4. La pose	79
4.3.4.5. Les points singuliers	80
4.4. Contrôle	80
4.4.1. Les asphaltes coulés	80
4.4.2. Les feuilles préfabriquées	81
4.4.3. Les résines	82
4.4.4. Contrôle de l'efficacité de l'étanchéité dans le temps	82
4.5. Protection de l'étanchéité	82
5. LA COUCHE DE PROTECTION	83
5.1. Rôle et caractéristiques de la couche de protection	83
5.1.1. Nécessité d'une protection de l'étanchéité	83
5.1.2. Qualités principales de la couche de protection	83
5.2. Types de protection	84
5.2.1. Asphalte coulé	85
5.2.2. Béton bitumineux	85
5.2.3. Mortier de ciment	86
5.2.4. Feuilles préfabriquées	86
5.3. Choix de la protection	87
5.3.1. Choix du type de protection	87
5.3.1.1. Asphalte coulé	87
5.3.1.2. Béton bitumineux	90
5.3.1.3. Feuilles préfabriquées	91

5.3.2. Choix de la formulation ou du produit	91
5.3.2.1. Asphalte coulé	92
5.3.2.2. Béton bitumineux	92
5.3.2.3. Feuilles préfabriquées	93
5.4. Mise en œuvre de la couche de protection	93
5.4.1. Asphalte coulé	93
5.4.2. Béton bitumineux	94
5.4.3. Feuilles préfabriquées	97
5.5. Contrôles	98
5.5.1. Asphalte coulé	98
5.5.2. Béton bitumineux	98
5.5.3. Feuilles préfabriquées	99
5.6. Pose des couches supérieures à la couche de protection	99
6. LE REPROFILAGE	101
6.1. Le problème	101
6.2. Correction du profil en long	101
6.3. Choix du type de reprofilage	103
6.3.1. Reprofilage en faisant varier l'épaisseur d'une couche de revêtement	103
6.3.2. Reprofilage à l'aide d'une couche spécifique	103
6.3.3. Comparaison entre le reprofilage sous l'étanchéité et celui effectué à l'aide d'une couche de liaison	106
6.3.3.1. Reprofilage par couche de liaison	106
6.3.3.2. Reprofilage sous l'étanchéité	106
6.4. Conception, exécution et contrôle du reprofilage sous l'étanchéité	107
6.4.1. Choix des matériaux et systèmes	107
6.4.1.1. Reprofilage épais	107
6.4.1.2. Reprofilage en épaisseur plus faible	108
6.4.2. Exécution	108
6.4.3. Contrôle	108
6.5. Conception, exécution et contrôle du reprofilage à l'aide de la couche de liaison	108
6.5.1. Choix des matériaux	108
6.5.2. Travaux préliminaires	109
6.5.3. Exécution	110
6.5.4. Contrôle de la couche de liaison	111

7. LA COUCHE SUPERIEURE DE LA CHAUSSEE	113
7.1. Rôle	113
7.2. Choix du type de couche de roulement	113
7.2.1. Béton armé continu	114
7.2.1.1. Cas où le béton armé continu passe sur le pont	114
7.2.1.2. Cas où le béton armé continu est interrompu au droit du pont	115
7.2.2. Béton bitumineux	115
7.2.3. Asphalte coulé	117
7.2.4. Dalles de béton	117
7.2.5. Traitements à posteriori de la surface des bétons bitumineux	117
7.3. Exécution de la couche de roulement	117
7.3.1. Béton armé continu	117
7.3.2. Béton bitumineux	118
7.4. Contrôle de la couche de roulement	119
8. ACCESSOIRES DE CHAUSSEE ET DISPOSITIFS DE COLLECTE DES EAUX	121
8.1. Corniches extérieures	123
8.1.1. Conception et principes	125
8.1.1.1. Bétonnage en deux phases	125
8.1.1.2. Protection contre les sels de déneigement	125
8.1.1.3. Hauteur du relevé	127
8.1.1.4. Evacuation des eaux	127
8.1.2. Exemples de réalisations	127
8.2. Corniches intérieures	133
8.3. Les socles d'ancrage des glissières de sécurité	135
8.3.1. Principes	135
8.3.2. Exemples de réalisation	136
8.4. Les trottoirs	138
8.4.1. Principes	139
8.4.1.1. Objectifs	139
8.4.1.2. Inclinaison	139
8.4.1.3. Niveaux	139
8.4.1.4. Joints longitudinaux	140
8.4.1.5. Conception du revêtement du trottoir en vue de faciliter l'évacuation des eaux	140

8.4.2. Les matériaux	141
8.4.2.1. Matériaux pour la couche supérieure	141
8.4.2.2. Matériaux pour la couche intermédiaire	144
8.5. Les filets d'eau	144
8.5.1. Dimensions et implantation	144
8.5.2. Structure	144
8.5.3. La couche supérieure du filet d'eau	145
8.5.4. La couche intermédiaire	146
8.5.5. La couche de drainage	147
8.6. Bandes de contrebutage	147
8.7. Pistes cyclables	148
8.8. Bordures de chasse-roues	148
8.9. Busettes de décompression	148
8.9.1. Conception	149
8.9.2. Implantation	149
8.9.3. Mise en place	149
8.10. Dispositifs de drainage	149
8.10.1. Drainage du revêtement de chaussée	150
8.10.1.1. Revêtement bitumineux	150
8.10.1.2. Revêtement en béton de ciment	151
8.10.2. Drainage des zones adjacentes de la chaussée	151
8.10.2.1. Géotextile de drainage	151
8.10.2.2. Dispositif de collecte	151
8.11. Gargouilles de drainage	155
8.11.1. Localisation	155
8.11.2. Conception	155
8.11.2.1. Les gargouilles	155
8.11.2.2. Les abords	157
8.11.3. Mise en place	157
8.12. Avaloirs	157
8.12.1. Localisation	158
8.12.2. Conception de l'avaloir et de ses abords	158
8.12.2.1. L'avaloir	158
8.12.2.2. Les abords	159
8.12.3. Mise en place	161
8.13. Joints de dilatation	162

8.13.1. Principes	162
8.13.2. Exemples de raccordement	163
8.13.2.1. Pose du revêtement après le joint – Continuation des couches bitumineuses jusqu'au joint	168
8.13.2.2. Pose du revêtement après le joint et contre une poutre en béton solidaire du joint	169
8.13.2.3. Pose du joint après le revêtement et raccordement en asphalte coulé	170
8.13.2.4. Pose du joint après le revêtement et raccord à l'aide d'une poutre en béton	172
8.14. Raccord entre le revêtement du pont et celui de la chaussée adjacente	172
8.14.1. Principes	172
8.14.2. Exemples de raccordement	172
8.14.2.1. Cas où il y a un joint de dilatation	172
8.14.2.2. Cas où il y a une dalle souple entre la culée et la dalle flottante	173
8.14.2.3. Cas où il n'y a ni joint de dilatation, ni dalle souple	173
8.15. Repères de nivellement, regards, boîtiers pour repères et autres éléments locaux de discontinuité	173
8.15.1. Principes	173
8.15.2. Quelques recommandations	174
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	177
LISTE DES FIGURES	183
LISTE DES TABLEAUX	185

Imprimé en Belgique
Imprimerie du C.R.R.
D/1987/0690/1

Tirage : 1.600