

techniques et méthodes
des laboratoires des ponts et chaussées



Guide technique

**Entretien des complexes
étanchéité/couche de roulement
sur ouvrages d'art**

**Cas des ouvrages
comportant un renformis
sous la chape d'étanchéité**

Les collections du LCPC

Le libre accès à l'information scientifique est essentiel pour favoriser la circulation du savoir et pour contribuer à l'innovation et au développement socio-économique. Pour que les résultats des recherches soient plus largement diffusés, lus et utilisés, l'Université Gustave Eiffel a fait le choix de numériser et de mettre à disposition en téléchargement gratuit, l'intégralité des ouvrages publiés dans les collections du LCPC de 1969 à 2014, du fait de son caractère patrimonial.

La collection « techniques et méthodes des laboratoires des ponts et chaussées »

Issus de l'expertise du réseau scientifique et technique (RST), les ouvrages publiés dans la collection « techniques et méthodes des laboratoires des ponts et chaussées » ont été conçus et rédigés en vue des applications sur le terrain par les professionnels du BTP. La collection se décline en deux séries : guide technique et méthode d'essai.

- La série « guide technique » réunit des synthèses de connaissances, fruits de groupes de travail nationaux associant partenaires publics et privés. Ces guides n'ont pas de valeur normative mais servent de support au développement des techniques.
- La série « méthode d'essai » réunit des méthodes à caractère normatif ou de recommandations. Les méthodes font l'objet d'une qualification par le service qualité du LCPC.

La collection « études et recherches des laboratoires des ponts et chaussées »

La collection ERLPC « études et recherches des laboratoires des ponts et chaussées » se décline en 8 séries thématiques : construction routière, environnement et génie urbain, géotechnique et science de la terre, mécanique et mathématiques appliquées, ouvrage d'art, physique chimie, sécurité et exploitation routières, sciences de l'ingénieur. Des mémoires de thèses ou d'habilitation à la direction de recherche, des résultats d'études générales et d'expérimentations en laboratoire et *in situ* ont été notamment publiés dans cette collection.

La collection « rapport de recherche du laboratoire central des ponts et chaussées »


De 1969 à 1990, les travaux de recherche les plus significatifs du LCPC ont été publiés dans la collection « rapport de recherche du laboratoire central des ponts et chaussées ». Cette collection historique a ensuite laissé la place à la collection « études et recherches des laboratoires des ponts et chaussées ».


La collection « actes des journées scientifiques du laboratoire central des ponts et chaussées »


Les ouvrages de la collection « actes des journées scientifiques du laboratoire central des ponts et chaussées » regroupent les communications présentées par les intervenants à l'occasion de manifestations scientifiques organisées ou co-organisées par le LCPC.

Les ouvrages des collections du LCPC sont diffusés sous la licence Creative Commons CC BY-NC-ND. Cette licence ne permet que la redistribution non commerciale de copies identiques à l'original. Dans ce cadre, les documents peuvent être copiés, distribués et communiqués par tous moyens et sous tous formats.



 Attribution — Vous devez créditer l'œuvre et intégrer un lien vers la licence. Vous devez indiquer ces informations par tous les moyens possibles mais vous ne pouvez pas suggérer que l'Université Gustave Eiffel vous soutient ou soutient la façon dont vous avez utilisé son œuvre.

 Pas d'utilisation commerciale — Vous n'êtes pas autorisé à faire un usage commercial de cette œuvre, tout ou partie du matériel la composant.

 Pas de modifications — Dans le cas où vous effectuez une adaptation, que vous transformez, ou créez à partir du matériel composant l'œuvre originale (par exemple, une traduction, etc.), vous n'êtes pas autorisé à distribuer ou mettre à disposition l'œuvre modifiée.

Entretien des complexes étanchéité/couche de roulement sur ouvrages d'art

Cas des ouvrages comportant un renformis sous la chape d'étanchéité

Guide technique

Juillet 2006



Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
58, bd Lefebvre, F 75732 Paris Cedex 15

Ce document a été établi à partir d'une action de recherche effectuée dans le cadre de l'opération de recherche « Méthodes d'exécution et de contrôle des ouvrages d'art », par Clément Bonifas du Laboratoire régional des Ponts et Chaussées de Saint-Quentin, Alain Charles et Hervé Cabanes du Laboratoire régional des Ponts et Chaussées de Blois et animée par Jean-Paul Benneton du Laboratoire régional des Ponts et Chaussées de Lyon.

Il a fait l'objet d'une relecture par un groupe d'experts du réseau technique du ministère de l'Équipement :

- ▶ Christophe Aubagnac, Responsable de l'opération de recherche et Marie-Paule Thaveau (Laboratoire régional des Ponts et Chaussées d'Autun),
- ▶ Patrick Dantec, Laboratoire régional des Ponts et Chaussées de Clermont-Ferrand, animateur du comité de programme,
- ▶ Michel Fragnet, SETRA Bagneux, Département Ouvrages d'art,
- ▶ Jacques Prost, Laboratoire régional des Ponts et Chaussées de Lyon,
- ▶ Pierre Thevenet, Laboratoire régional des Ponts et Chaussées de Lyon,

sous la tutelle technique de Thierry Kretz, Directeur technique chargé du domaine Ouvrages d'art au Laboratoire Central des Ponts et Chaussées.

Crédits photographiques : LRPC de Saint-Quentin, LRPC de Blois, LRPC de Clermont-Ferrand, LRPC de Lyon.

Pour commander cet ouvrage :
Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
DISTC – Section Diffusion
58 boulevard Lefebvre
F-75732 Paris Cedex 15
Téléphone : 01 40 43 50 20
Télécopie : 01 40 43 54 95
Internet : <http://www.lcpc.fr>

Prix : 38 euros HT

Ce document est propriété du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées et ne peut être reproduit, même partiellement, sans l'autorisation de son Directeur général (ou de ses représentants autorisés).

© 2006 - LCPC
ISSN 1151-1516
ISBN 2-7208-2448-8

Présentation

Ce guide technique est destiné à aider les maîtres d'œuvre et maîtres d'ouvrages dans le cadre de la gestion des ponts à tablier en béton.

Il concerne la réhabilitation du complexe étanchéité/couche de roulement lorsque l'ouvrage comporte un renformis en béton sur le tablier, localisé ou généralisé.

C'est un cas peu fréquent, techniquement difficile à traiter, et qui suppose des connaissances sur les différents types de complexes étanchéité/couche de roulement actuellement sur le marché ; ces connaissances n'étant pas toutes reprises dans ce document, celui-ci s'adresse particulièrement au réseau technique des Centres d'études techniques de l'Équipement (CETE) et aux bureaux d'études ayant une pratique courante de l'entretien des ouvrages d'art.

Sommaire

1. Les renformis et pathologie afférente	7
1.1 Généralités sur les renformis et leur rôle	7
1.2 Géométrie – conformation du renformis	9
1.3 Nature des problèmes posés – diagnostics	10
1.4 Stratégie générale – décisions	12
1.5 Les étapes de projet	14
2. Travaux de démolition	15
2.1 Enlèvement complet du complexe chape d'étanchéité/couche de roulement	15
2.2 Examen/diagnostic du renformis en béton – décisions	16
2.3 Modalités de démolition totale ou partielle du renformis en béton	17
2.3.1 Rabotage	17
2.3.2 Démolition hydraulique à ultra haute pression	18
2.3.3 BRH (brise roche hydraulique)	18
2.3.4 Enlèvement à la bêche pneumatique	19
2.4 Synthèse des commentaires précédents sur les procédés de démolition et incidence sur le projet général de réhabilitation	19

3. Reconstruction ou réparations localisées des renformis en béton avec utilisation de produits à base de liants hydrauliques.....	21
3.1 Reconstruction générale	22
3.1.1 Choix du matériau	22
3.1.2 Travaux préalables à la réalisation du renformis en béton (ragréages)	25
3.1.3 Mise en œuvre du renformis en matériau hydraulique	25
3.1.4 Choix du complexe étanchéité/couche de roulement	28
3.2 Réparations localisées par béton hydraulique de l'ancien renformis en béton	29
3.2.1 Il convient de distinguer plusieurs cas	29
3.2.2 Mise en œuvre de réparations localisées	29
3.2.3 Choix du complexe étanchéité/couche de roulement	30
3.3 Points forts/points faibles de la technique de renformis en produit hydraulique	30
3.4 Contrôles	31
4. Réhabilitation d'un renformis en béton par un béton bitumineux	33
4.1 Généralités – cas-types	33
4.2 Renformis en béton bitumineux généralisé	34
4.2.1 Propriétés fonctionnelles et caractéristiques recherchées du béton bitumineux de reprofilage	35
4.2.2 Mise en oeuvre	36
4.2.3 Points forts/points faibles de la technique du reprofilage généralisé en béton bitumineux	39
4.2.4 Contrôles	39
4.3 Réparation locale du renformis en béton hydraulique par un béton bitumineux	40
4.3.1 Problème posé	40
4.3.2 Choix du matériau et modalités de mise en œuvre	40
5. Avantages et inconvénients comparés de chaque solution de réhabilitation, béton hydraulique ou béton bitumineux	43
6. Conclusion	45
7. Annexes	47

1.

Les renformis et pathologie afférente

Remarque préalable

Au niveau de ce chapitre de présentation on ne considère que le cas de renformis en béton hydraulique, ce qui est le cas quasi exclusif rencontré sur les ouvrages anciens (les renformis en béton bitumineux sont d'usage récent).

1.1 Généralités sur les renformis et leur rôle

Le renformis en béton permet de donner une pente transversale optimisée à un tablier lorsque celle-ci n'a pu être obtenue dès la construction par l'extrados du tablier ou que ce concept de renformis a été intégré dès la conception de l'ouvrage. Cette pente est nécessaire à un bon écoulement des eaux en surface de la chaussée mais également à l'interface couche de roulement/chape d'étanchéité ; la durabilité du béton bitumineux constituant la couche de roulement est en effet affectée lorsque sa base est saturée d'eau.

Le renformis en béton permet également de rétablir une planéité suffisante, que ce soit pour le profil en travers ou en long, permettant d'éviter des variations trop importantes des épaisseurs de la chape d'étanchéité et de la couche de roulement, paramètre indispensable à leur bonne réalisation et à leur bon fonctionnement. Cette uniformité de pente est nécessaire pour l'écoulement des eaux et pour une bonne réalisation du complexe étanchéité/couche de roulement (fig. 1).

- Les renformis sont quelquefois rencontrés dans les anciens ouvrages en béton précontraint à voussoirs (en particulier ceux préfabriqués), réalisés dans les années 1960-1970, et pour lesquels la maîtrise des méthodes de construction et les phénomènes de fluage pouvaient conduire assez souvent à un extrados présentant un mauvais profil en long.
- Ouvrages à poutres précontraintes notamment les VIPP. (*)

* Viaduc à travées indépendantes à poutres préfabriquées précontraintes

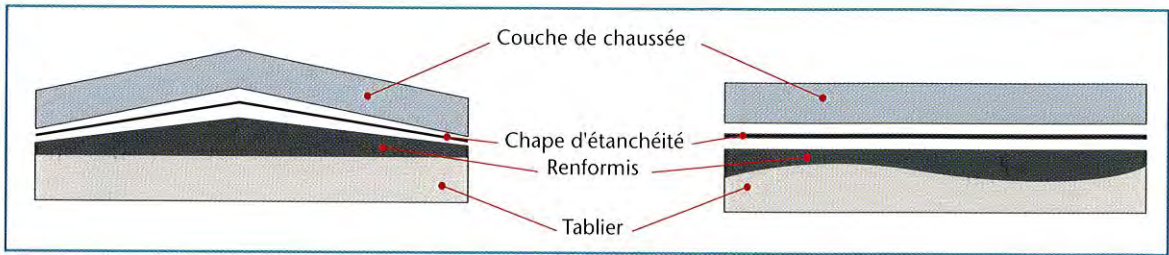


Figure 1 – Présence de renformis en béton sur un tablier d'ouvrage d'art

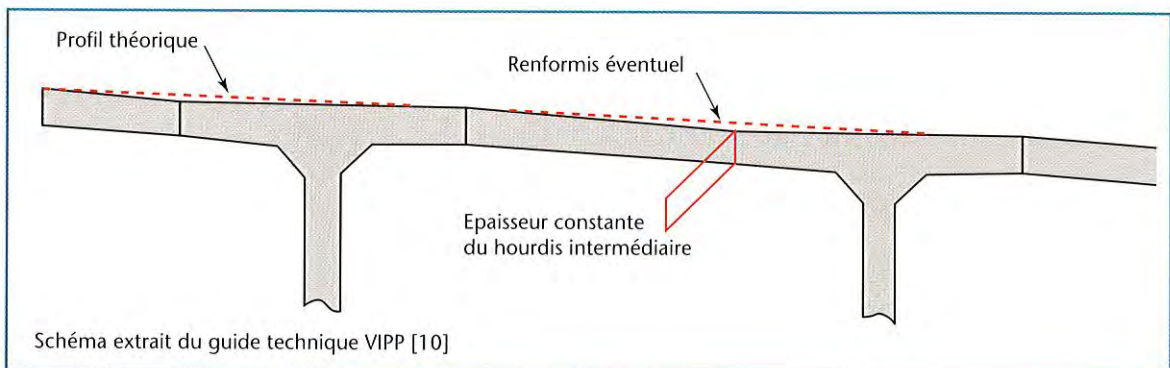
Dans le cas des VIPP, le hourdis supérieur de ces ouvrages peut présenter des morphologies multiples en fonction de leur âge [10] : hourdis en béton armé ou précontraint, hourdis coulé entre les tables supérieures des poutres ou sur les poutres.

Ce type d'ouvrages est très répandu puisque le parc est estimé à 1 200/1 500 ouvrages dont 720 étaient en service en 1966 [10].

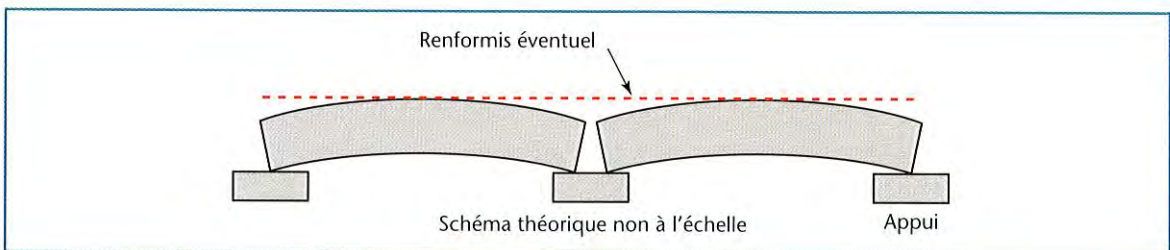
Dans le cas des ouvrages avec hourdis intermédiaire, pour assurer un dévers, plusieurs possibilités existent :

- utiliser des poutres avec une table supérieure inclinée ;
- déniveler les poutres sur appuis et **appliquer des renformis locaux (fig. 2a) ;**
- appliquer un **renformis général.**

C'est cette dernière solution qui est généralement retenue, car elle permet également de prendre en compte les déformations des poutres sous l'effet de la précontrainte (contre-flèche) et la nécessité de renformis quasi systématique au droit des appuis (fig. 2b).



2 a



2 b

Figure 2 – Cas des VIPP – utilisation de renformis pour assurer le profil en travers (figure 2a) et le profil en long (figure 2b)

Dans le cas des ouvrages récents, la forme du hourdis coulé par-dessus les poutres permet d'assurer les profils en long et en travers.

À titre d'exemple, on peut citer le cas particulier d'un viaduc autoroutier de type VIPP en courbe à sept travées, de longueur 37 m, de largeur utile 9 m et présentant à la fois des pentes longitudinale (5 %) et transversale (4 %).

La table supérieure des poutres posées sur les chevêtres de piles et sur les culées est horizontale ; sur le profil en travers, leur altitude croissante a donc conduit à un extrados en ligne brisée (fig. 2a), et a nécessité un renformis général d'épaisseur variant entre 5 et 15 cm (voire 20 cm) pour donner au tablier des pentes transversales et longitudinales correctes.

Dans ce cas, les irrégularités d'épaisseurs du renformis se rencontrent à la fois en profil en travers mais également en profil en long.

1.2 Géométrie – conformation du renformis

Le renformis peut régner :

- sur l'ensemble de la surface du tablier (recherche d'un profil en travers en toit) ;
- sur une travée (reconstruction pour faits de guerre par exemple) ;
- sur des surfaces localisées sous forme de « lentilles » de quelques dizaines de mètres carrés.

Son épaisseur est généralement de 5 à 12 cm (mais peut être localement plus ou moins importante).

Remarques

- Ne pas confondre, « renformis » avec les remplissages de « flaches » (« déflachage ») dont les dimensions sont métriques en plan et centimétriques en profondeur.
- Sur certains ouvrages anciens, on trouve des **contre-chapes en béton** (fig. 3), situées sur la chape d'étanchéité et destinées elles aussi à donner une pente et une protection de la chape ; à ne pas confondre avec le béton du tablier au niveau des investigations préalables.

Note. Cette dernière disposition constructive n'est plus utilisée : le vieillissement de la contrechape en service est mauvais (fissuration), peut-être du fait de leur trop faible épaisseur locale et de l'inversion des modules dans le cas de la chape épaisse en asphalte ; par ailleurs l'eau s'évacue mal au niveau de la chape du fait de son horizontalité.

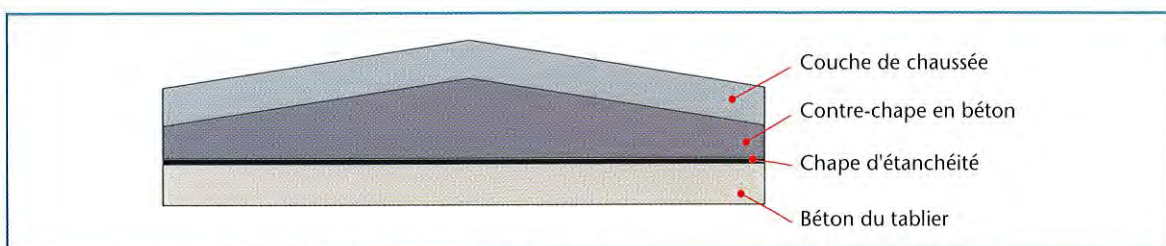


Figure 3 – Ancienne conformation avec « contre-chape en béton »

1.3 Nature des problèmes posés – diagnostics

■ Aspect des désordres

La défaillance d'un renformis en béton sous la chape se manifeste généralement par des *dégradations localisées de la couche de roulement* (fig. 4) :

- dégradations sur une surface de un à quelques mètres carrés ;
- fissuration, morcellement, généralement au droit des passages de roue en voie lente et faisant bien penser à un effondrement du support ;
- ce phénomène ne peut être confondu :
 - ni avec les dégradations relatives à des phénomènes *de gonflement* cyclique du complexe chape d'étanchéité/couche de roulement ; dans ce cas on est en présence de fissures plus ou moins circulaires et concentriques ou en étoiles,
 - ni avec les phénomènes de glissement de couches de roulement sur les chapes où les fissures sont plutôt perpendiculaires à l'axe de la chaussée,
- l'exploitant répare sommairement la zone mais, chaque année, de nouvelles dégradations apparaissent ailleurs ;
- ces dégradations de la couche de roulement peuvent s'accompagner de défauts d'étanchéité de la chape.

Figure 4 –

Réparations locales du complexe étanchéité/couche de roulement (liées à une dégradation du renformi béton sous-jacent)



■ Examen du dossier d'ouvrage

Avant toute investigation, l'examen du dossier d'ouvrage est indispensable : conception et réalisation de l'ouvrage, travaux de remise en état, présence et nature du renformis (épaisseur), descriptif du complexe étanchéité/couche de roulement (nature et épaisseur des couches).

■ Investigations localisées et diagnostics préliminaires

- *une ouverture* (« fenêtres ») préliminaire de 1 à 2 m² sur le périmètre de la zone dégradée, concernant si possible à la fois une partie saine et une partie dégradée *est indispensable* ;
- l'emplacement des ouvertures est à définir en fonction du type d'ouvrage et des éléments du dossier ; par exemple, pour les VIPP, il est indispensable d'en faire au droit de la ligne d'appui (joints de chaussée) et à mi-travée et cela éventuellement dans l'axe médian et sur les rives ;

- cette ouverture peut être pratiquée à la bêche pneumatique ;
- elle doit être progressive et soignée pour évaluer successivement la nature et l'état des différentes couches : couche de roulement/étanchéité/renformis ;
- si la **pathologie rencontrée est liée à une dégradation du renformis béton**, il s'avère que celui-ci est effectivement détruit : fissuration, adhérence mauvaise ou nulle, perte de cohésion avec des morceaux qui se détachent.



Figure 5 –

Aspect d'un renformis béton après rabotage superficiel ; décollement des zones de faible épaisseur

Remarque

■ Lors des réparations urgentes « de fortune » qui sont alors effectuées par l'exploitant, le problème est quelquefois de savoir où s'arrêter lors de la purge, pour ne pas transformer la réparation locale en chantier généralisé (fig. 5) !

- ce type de sondage permet donc :
 - de confirmer la présence d'un renformis béton sous la chape, de son état dégradé et de son épaisseur locale ; généralement les désordres se produisent sur des zones où l'épaisseur du renformis est faible (4 à 5 cm, voire moins) et sur la voie lente ;
 - d'avoir une première idée respectivement de la nature et de l'épaisseur de la chape d'étanchéité et des couches de chaussée ;
 - de différencier nettement le cas d'une dégradation de chaussée liée à la dégradation d'une contre-chape en béton se trouvant **sur** la chape d'étanchéité (cf. fig. 3) et celle de la dégradation liée à celle d'un renformis situé **sous** la chape d'étanchéité.

■ Diagnostic général et sa problématique

- *quelles sont les zones de l'ouvrage susceptibles de se dégrader à court terme ?* C'est évidemment la question de base du gestionnaire pour définir l'étendue de la (des) réparation(s) à envisager, soit généralisée, soit localisée ;
- investigations par méthodes de contrôle non destructives (CND) :
 - les méthodes radar permettent de déterminer la présence et l'épaisseur d'une contre-chape en béton **sur** la chape d'étanchéité, ce qui permet d'optimiser le projet,
 - le radar permet également de mesurer les épaisseurs de chaussée, donnée importante, en particulier si l'on est en présence d'un reprofilage en béton bitumineux,

- actuellement, **il n’y a pas de méthode non destructive opérationnelle** qui permette des investigations sur un renformis béton situé **sous** un complexe étanchéité/couche de roulement et susceptible de fournir une cartographie d’un tablier avec localisation de zones de renformis présentant successivement : béton sain et non fissuré, fissuré et non adhérent, non fissuré mais non adhérent ; ces méthodes sont en cours de développement ;
- d’autres « fenêtrages » effectuées sur l’ouvrage peuvent permettre, en parallèle avec l’examen du dossier d’ouvrage, de confirmer le descriptif du complexe global (nature et épaisseur des couches), de détecter une présence d’eau anormale entre le renformis et tablier et de juger de la cohésion superficielle du béton du tablier (fig. 6) ;

Remarque. Circonscrire les investigations à une seule travée risque de donner des informations peu représentatives ; leur implantation est à valider par un spécialiste en structure.

Figure 6 –

Fenêtre de reconnaissance



L’examen des couches successives lors des ouvertures de fenêtrages et carottages peut s’avérer délicat, car il dépend fortement des adhérences respectives des couches entre elles : chaussée/chape/renformis/tablier.

■ À noter que sur certains ouvrages anciens, il existe des chapes d’étanchéité à base de mortier hydraulique riche en ciment, et il faut donc être attentif à ne pas les confondre avec un éventuel renformis en béton, sous-jacent à une chape d’étanchéité plus récente et avec le béton du tablier.

■ Les carottages complémentaires de petits diamètres sont déconseillés car ils risquent d’endommager les armatures passives et actives et, par ailleurs, les informations recueillies sont bien moins intéressantes que celles obtenues à partir des fenêtrages ; ils sont à réserver uniquement et avec précaution pour le diagnostic d’épaisseur des couches de roulement.

■ En phase travaux, une fois enlevé le complexe étanchéité/couche de roulement, il est possible également d’effectuer des fenêtrages pour connaître les épaisseurs locales de renformis.

1.4 Stratégie générale – décisions

Après des « réparations localisées successives » *au fur et à mesure* que se produisent des dégradations, le gestionnaire est généralement amené à envisager une « **réhabilitation complète** ».

Cette décision de l’exploitant peut dépendre :

- de la fréquence des dégradations ;
- de la difficulté de pouvoir effectuer de multiples réparations successives ou sérieuses du fait de la gêne importante occasionnée aux usagers liée au trafic élevé supporté par l’ouvrage ; dans ce cas ces réparations se font souvent de nuit avec plus ou moins d’improvisation et ce, sans pouvoir maîtriser

les aléas météo ; or ces réparations localisées comportent de réelles difficultés techniques - pour ces travaux de réparations localisées se reporter au document « Mise à jour n° 2 du STER 81 » [3] ;

- de l'état général de la chaussée et du niveau d'étanchéité actuel de la chape ; on hésite moins à une réhabilitation générale si, par ailleurs, le complexe étanchéité/couche de roulement en place donne d'autres signes de défaillance ;
- on peut généralement travailler par demi-chaussée mais, dans certains cas de renformis d'épaisseur très variable, la réparation totale peut s'avérer très difficile en opérant par voies de circulation successives et il est bien préférable, voire nécessaire, d'avoir accès à toute la largeur du tablier, donc de fermer totalement l'ouvrage (ce qui peut dans certains cas occasionner des déviations d'itinéraire complexes à gérer).

Dans le cas où une réhabilitation complète a été décidée, on procède à l'enlèvement du complexe chape d'étanchéité/couche de roulement jusqu'au renformis en béton et un examen général de celui-ci est réalisé : aspect (fissuration), cohésion interne et superficielle, épaisseur, adhérence au béton du tablier.

Les informations recueillies sur l'état du renformis, en particulier état de dégradation/épaisseur/surface concernée permettent au maître d'œuvre de choisir entre démolition totale ou localisée.

Il y a des situations extrêmes où la décision est facile à prendre :

- démolition localisée lorsque, sur une majorité de la surface, le renformis est épais, sain et adhérent ;
- démolition totale (sur toute la surface du tablier ou sur une voie de circulation) si, sur une majorité de la surface concernée, le renformis est de faible épaisseur, est fissuré, a peu de cohésion, a peu d'adhérence au béton du tablier.

Il y a de multiples situations intermédiaires où la décision peut être difficile.

Par ailleurs, dans l'analyse globale de la situation, il y a un *paramètre* difficile à intégrer, c'est la prévision d'évolution dans le temps de ce renformis examiné ; après une période d'incubation de quelques dizaines d'années sans pathologie, puis l'apparition des premières dégradations, il est possible que la vitesse d'évolution s'accroisse de manière naturelle (fatigue, décollement progressif), avec amplification éventuelle, en particulier sur la voie lente, par l'augmentation du trafic poids lourds.

Autre interrogation : le renformis semble décollé (« sonne creux ») mais l'épaisseur est confortable (plus de 10 cm), que fait-on ?

L'état d'esprit est généralement : « on enlève tout ce qui veut bien s'enlever dans des délais et coûts raisonnables, avec les moyens techniques disponibles optimisés, sans altérer le tablier de l'ouvrage et ce particulièrement sur les voies de circulation lentes ».

On comprend que la décision initiale soit révisable et qu'un enlèvement total prévu initialement ne le soit que partiellement, si des fortes difficultés techniques apparaissent lors de cet enlèvement.

Au niveau du projet, il convient donc d'envisager ces deux scénarii, pour éviter d'improviser en cours de travaux, situation toujours difficile, à la fois sur le plan technique, des délais et des prix.

De même dans les pièces de marché, compte tenu de l'incertitude sur l'état du renformis, il est prudent d'avoir un bordereau des prix exhaustif (cf. annexe 5).

Pour cela et en dérogation au CCAG, on peut s'inspirer du commentaire au § 9.3 du F 67-I du CCTG relatif au cas particulier des réfections d'étanchéité et effectuer avec l'entrepreneur un

relevé contradictoire de l'état du support une fois enlevé le complexe étanchéité/couche de roulement et relatif à la nature et la quantité de travaux à effectuer en se référant au bordereau de prix précité le plus exhaustif possible.

1.5 Les étapes de projet

Ce document ne traite que de la réhabilitation du renformis mais celle-ci s'inscrit très généralement dans le cadre de travaux de réparations de superstructures, notamment : trottoirs, joints de chaussées, corniches, avaloirs, etc.

Il s'agit donc d'un projet global de réparation cohérent, qui prend en compte toutes les contraintes particulières, pour aboutir aux données de consultation des entreprises.

Un logigramme de décision est présenté en annexe 1.

2.

Travaux de démolition

2.1 Enlèvement complet du complexe chape d'étanchéité/couche de roulement

Les modalités diffèrent suivant la nature de la chape d'étanchéité.

■ Pour une chape asphalte bi-couche en semi-indépendance, l'enlèvement est relativement facile et peut s'effectuer au chargeur et/ou à la pelle hydraulique (avec godet sans dent pour ne pas abîmer la surface du béton de renformis, s'il est prévu de le conserver).

L'opération peut être facilitée par des découpes préalables à la bêche pneumatique.

■ Pour une chape adhérente à base de feuille préfabriquée bitumineuse, recouverte ou non d'asphalte, cette opération peut s'avérer beaucoup plus difficile si l'adhérence résiduelle de la feuille au support béton est bonne, celle entre le béton bitumineux et la feuille d'étanchéité l'étant généralement.

Si l'on souhaite conserver le renformis béton, les résidus de feuilles restant en place peuvent être enlevés par décapage à l'eau à très haute pression (THP). S'il est prévu **d'éliminer tout ou partie de l'épaisseur du** renformis, c'est la solution par rabotage qui s'impose (cf. § 2.3.1).

Il peut rester dans des zones en creux des résidus bitumineux fortement adhérents : il ne faut pas s'acharner à vouloir les enlever s'ils sont compatibles avec le nouveau système d'étanchéité.

■ Pour une chape en résine (FMAS), l'enlèvement de la couche de roulement est facile (chargeur/pelle) ; celui de la chape résine peut s'avérer plus difficile. Dans les zones où il n'est pas prévu de fraiser le renformis en béton, et où celui-ci est conservé, l'élimination peut être effectuée par projection d'abrasif, ou grenailage ou projection d'eau très haute pression (> 60 MPa), le rendement est plus ou moins bon suivant la nature, l'épaisseur de la résine et son degré de vieillissement.

2.2 Examen/diagnostic du renformis en béton – décisions

Une fois le complexe étanchéité/couche de roulement enlevé, l'examen du renformis peut être effectué.

C'est une phase essentielle qui doit permettre soit :

- de confirmer l'enlèvement complet du renformis,
- de définir les zones qui feront l'objet d'un enlèvement localisé.

L'examen porte sur :

a) les zones fissurées : fissuration traversant toute l'épaisseur du renformis ou non, fissures isolées ou en réseau ;

b) zones décollées :

- l'examen à la massette des zones « sonnant creux » est un moyen rustique qui n'est, à ce jour, pas remplacé par un moyen instrumental plus « technique » ; l'examen au scléromètre ne donne semble-t-il pas d'information meilleure que le sondage à la massette ;
- par contre l'examen par la méthode « Impact Écho » basé sur la mise en évidence de variation d'impédance acoustique entre plusieurs milieux est susceptible de mettre en évidence des décollements du renformis (s'il y a une lame d'air d'au moins 1/10 de millimètre) ; son utilisation pour mesurer les épaisseurs dans le domaine des faibles épaisseurs de 3 à 15 cm est au stade de développement.

D'autres techniques (caméra infra-rouge) sont en cours de développement.

Note. Lors de l'utilisation de la bêche pneumatique ou de la massette, la mise en vibration de la poussière en surface du renformis peut renseigner sur la localisation de zones décollées.

c) cohésion superficielle du renformis : au droit des zones où le complexe d'étanchéité était défaillant, le béton du renformis peut être fortement attaqué par le sel (et l'effet du gel en présence de sels de déverglaçage).

d) épaisseur : il peut être utile d'effectuer des investigations complémentaires (fenêtres) pour préciser les informations recueillies antérieurement et optimiser les procédures de démolition à mettre en œuvre à soumettre à l'agrément du maître d'œuvre ; en effet, cela renseigne utilement sur l'épaisseur et la cohésion locale du renformis et également sur son adhérence au béton du tablier, élément important d'appréciation.

Le nombre de ces sondages dépend de la conformation de l'ouvrage (taille, travées indépendantes, courbes et changement de dévers) et de l'hétérogénéité supposée (en épaisseur) du renformis.

e) levé topographique : un levé topographique est généralement effectué. Dans certains cas, il est prévu, au niveau du projet, d'abaisser par rabotage superficiel la cote du niveau supérieur du renformis (gain de poids, optimisation de l'épaisseur du nouveau complexe par rapport à la cote des joints de chaussées non démontés, etc.). Dans ce cas, le levé topographique par rapport à des éléments fixes (corniches, joints de dilatation restant éventuellement en place) permet d'optimiser la « ligne rouge » des profils en long et travers que l'on souhaite obtenir.

2.3 Modalités de démolition totale ou partielle du renformis en béton

2.3.1. Rabotage

■ Si l'enlèvement doit être total (toute l'épaisseur sur l'ensemble de la surface), on est très vite confronté à un risque de dégradation du tablier.

• Précautions pour le(s) rabotage(s)

Dans le présent contexte, comme on rabote en première phase un complexe d'étanchéité/couche de roulement sur un renformis béton et non directement sur le béton du tablier, on pourrait penser que des précautions sont inutiles ; en fait, sur certains ouvrages, on peut avoir de mauvaises surprises, avec un renformis localement **de très faible épaisseur ou absent** et ceci peut concerner tant le profil en long que le profil en travers, ceci justifie en cas de doute l'emploi de machines de rabotage de faible largeur.

Il convient :

- de connaître au mieux les épaisseurs des couches à raboter (sondages) (cf. § 2.2),
- d'utiliser préférentiellement des machines de faible largeur (1,5 m au maximum),
- de procéder en plusieurs passes (en épaisseur),
- de contrôler en permanence l'opération.

On sait par expérience qu'une opération de rabotage sur ouvrage d'art peut altérer fortement le tablier de l'ouvrage, en particulier coupures d'armatures sub-affleurantes (même si au préalable le conducteur de machine affirme que celle-ci est réglable au millimètre !) – la surface d'un tablier n'est pas un « marbre » et les armatures ne sont malheureusement pas toujours à la profondeur théorique ; le conducteur de machine, dans le bruit et la poussière, ne peut voir à chaque instant ce qui se passe. Il est très dommageable d'être amené à ouvrir un chantier de réparation/reconstitution d'armatures, au cours d'un chantier d'étanchéité (délais, coûts, contentieux) (fig. 7 et 8).

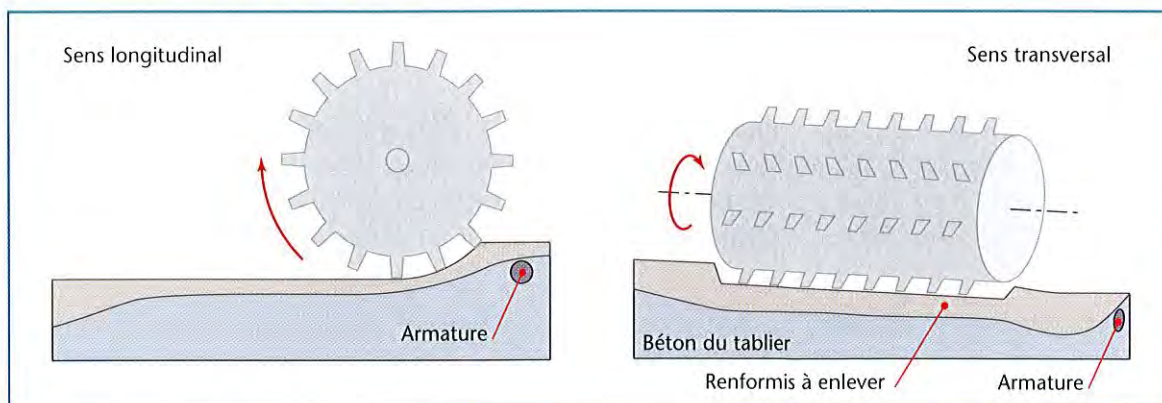


Figure 7 – Dégradations (coupures d'armatures) lors d'un rabotage

Figure 8 –

Coupe d'armatures du tablier lors de l'opération de rabotage de renformis



■ Cas d'un rabotage superficiel

Généralement, on se limite à un rabotage superficiel qui permet :

- d'assainir la surface du renformis pour l'application du futur complexe d'étanchéité,
- de repérer (ou faciliter le repérage) des zones de renformis les plus dégradées ou décollées qui sont éliminées localement à la bêche pneumatique.

2.3.2. Démolition hydraulique à ultra haute pression

Il s'agit de machines d'environ 1 à 2 m de largeur, à jet unique, à une pression d'eau d'environ 200 MPa (à partir de 100 MPa) (fig. 9), comportant un mouvement de va-et-vient (ne pas confondre avec les méthodes de décapage à très haute pression (THP) à des pressions de l'ordre de 50 à 100 MPa).

Le réglage de ce type de matériel **pour l'enlèvement d'un renformis en béton peut s'avérer difficile** car le mode de rupture est de nature variable et peu contrôlable :

- soit dans la partie inférieure du renformis, soit à l'interface renformis/béton du tablier
- soit en partie superficielle du béton du tablier ; dans ce dernier cas les dégradations peuvent présenter une profondeur de 2 à 3 cm, ce qui nécessite des travaux ultérieurs de ragréages localisés importants, sauf s'il est prévu de réaliser un nouveau renformis en béton.

Par contre, l'avantage par rapport à la raboteuse est que les armatures ne sont pas détériorées et que leur mise à nu n'est pas rédhibitoire si la solution de réhabilitation est un **renformis en béton** ; à noter que les rendements sont faibles si l'épaisseur est importante.

2.3.3. BRH (brise roche hydraulique)

Matériel de concept identique à une bêche pneumatique mais **de forte puissance**. Ce type de matériel peut être d'une **efficacité** très variable pour la démolition d'un renformis, en fonction de sa puissance, de l'outil utilisé (pic ou bêche) de l'angle d'attaque de l'outil sur le support (vertical ou incliné) et des caractéristiques locales du renformis à enlever (épaisseur, cohésion, adhérence).

Malheureusement, cette variabilité dans l'efficacité d'enlèvement s'accompagne d'une agressivité potentielle pour le béton du tablier également très variable. Celle-ci peut être très forte et peut aller jusqu'au percement d'une dalle mince ; par ailleurs les fortes vibrations engendrées ne sont pas exemptes d'inconvénients pour certaines structures.

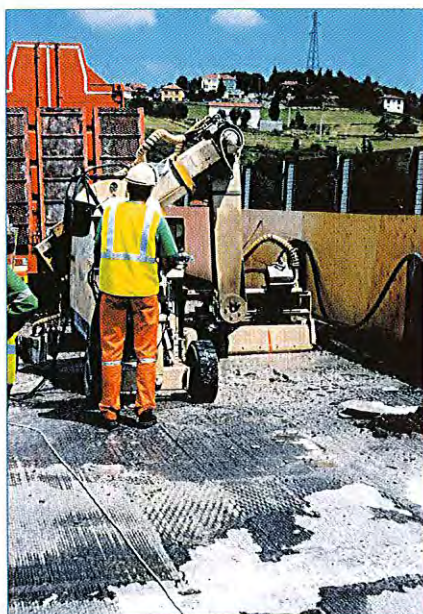


Figure 9 –
Robot d'hydrodémolition du renformis

Ce type d'engin est à proscrire car il y aura toujours une zone localisée pour laquelle le renformis sera difficile à enlever ; le conducteur d'engin, même bien informé, ne peut entièrement maîtriser l'efficacité de ce type d'outil et peut dégrader fortement l'ouvrage.

2.3.4. Enlèvement à la bêche pneumatique

Cet outil est bien adapté aux objectifs initiaux « enlever seulement ce qui est dégradé et décollé ».

En fait sur le plan pratique, le comportement du renformis en place est très variable, succession de zones saines ou non, et il est parfois difficile de « doser » l'énergie à utiliser et le moment où il faut s'arrêter.

2.4 Synthèse des commentaires précédents sur les procédés de démolition et incidence sur le projet général de réhabilitation

Il y a une **méconnaissance inévitable au niveau du projet**, de la difficulté de démolir un renformis en béton et de la difficulté de prévoir *a priori* les moyens adaptés ; ces difficultés vont se traduire au cours du chantier en contrainte de délais, de surcoûts éventuels et de risque de dégradation de l'ouvrage ; **il vaut donc mieux ne pas opter pour la démolition généralisée d'un renformis comme solution de base du projet.**

Si celle-ci est cependant maintenue, il est préférable au niveau du projet de spécifier, pour cet enlèvement total, **une simple obligation de résultats plutôt que de moyens** : « enlever forfaitairement tout le renformis sans aucune dégradation du tablier » : c'est évidemment simple sur le plan de la rédaction de pièces de marché, mais n'empêchera pas les ennuis prévisibles qu'il faudra gérer en cas de dégradations du tablier : délais, surcoût, altération du tablier, contentieux, etc.

Prendre plutôt l'option suivante :

- enlèvement par rabotage du complexe étanchéité/couche de roulement ; à noter que cette opération doit faire l'objet d'un contrôle permanent ;
- examen approfondi de l'état du renformis, (visuel, épaisseur, sondage au marteau etc., cf. § 2.2) ; ceci constitue un POINT D'ARRÊT comme mentionné en annexe 4 relative aux contrôles ;
- **élimination des seules zones jugées les plus mauvaises** ; délimitation périmétrique par sciage ou bêche pneumatique et enlèvement à la bêche pneumatique (cf. § 2.3.4) ;
- rabotage superficiel de quelques centimètres sur certaines zones si cela s'avère nécessaire pour compléter et uniformiser l'opération précédente et/ou pour avoir en tout point l'épaisseur disponible pour mettre en place le futur complexe étanchéité/couche de roulement et/ou le profil souhaité.

Remarques

- pour cette option d'enlèvement localisé, bien définir l'obligation de résultats en terme d'altérations non tolérées, par exemple :
 - ne pas couper d'acier,
 - ne pas altérer le tablier sur plus d'un centimètre de profondeur.
- cette option qui multiplie la nature des tâches à rémunérer nécessite une « bibliothèque » de prix la plus complète possible comme mentionné au § 1.4.

L'ensemble des opérations de démolition doit faire l'objet de procédures d'exécution soumises à l'agrément du maître d'œuvre et l'objet d'essais de convenance.

3.

Reconstruction ou réparations localisées des renformis en béton avec utilisation de produits à base de liants hydrauliques

En préambule, il s'agit d'attirer l'attention des concepteurs sur la différence qui existe entre les **renformis** à base de bétons hydrauliques, dont le but premier est **simplement de créer un profil en travers (et/ou en long) en pente**, et les **renforcements en béton armé** qui, comme leur nom l'indique, renforcent le tablier existant, en participant à la reprise des efforts dans la structure. À noter qu'un projet de renforcement de tablier par coulage d'une dalle complémentaire supérieure armée connectée pourra inclure la fonction complémentaire de création des dévers, propre à la réalisation d'un renformis.

Que ce soit pour créer un renformis sur un ouvrage où il n'en existe pas (absence de pente, mauvaise évacuation des eaux de pluies), ou pour effectuer une réfection d'un renformis ancien et défaillant (décollements localisés ou généralisés avec dégradation du complexe étanchéité/couche de roulement), il est toujours intéressant de mettre en oeuvre des matériaux au comportement physique très proche de celui du béton des hourdis en place. **Les matériaux à base de liants hydrauliques utilisés en renformis répondent à ce critère de compatibilité.** Ceci est particulièrement important en cas de réparations localisées où matériaux anciens et nouveaux sont adjacents. Pour utiliser de tels matériaux dans des conditions optimales, le concepteur doit veiller à la qualité des produits, à la composition adéquate des mélanges, à leurs caractéristiques physiques et mécaniques afin d'optimiser la mise en oeuvre (maniabilité) et le comportement en service (résistance, adhérence). Il devra veiller ensuite à une mise en oeuvre correcte des produits notamment en prenant en compte la mise en place *a posteriori* des complexes d'étanchéité et de roulement sur ce renformis, et prendre en compte la durée de remise en service (cf. § 3.3 « Points forts/points faibles »).

3.1 Reconstruction générale

La mise en place manuelle des renformis à base de liant hydraulique est très bien adaptée pour des surfaces relativement faibles à moyennes de 500 à 1000 m² mais ceci est fonction des moyens mis en œuvre (matériel et personnel) ; au-delà c'est à étudier en fonction des moyens et des sujétions propres au chantier et à comparer au rendement obtenu en technique hydrocarbonée pour laquelle les délais de remise en service sont beaucoup plus réduits. Cette mise **en place manuelle présente l'avantage d'être très adaptable aux états de surface rencontrés, aux variations locales d'épaisseur souhaitées et convient bien aux petits ouvrages anciens très communs dans notre patrimoine.**

3.1.1. Choix du matériau

Le choix du matériau doit faire l'objet d'une étude sérieuse en fonction des contraintes suivantes.

■ **Épaisseur à mettre en œuvre.** Il est toujours possible de formuler un produit à base de liant hydraulique ou à base de résine époxydique utilisable dans la gamme d'épaisseur souhaitée. La caractéristique principale sur laquelle il est possible de jouer est tout d'abord la présence de granulats, et la taille de ceux-ci. Il est même envisageable d'utiliser deux formules nominales différentes en fonction des épaisseurs du renformis, l'une ne comprenant que des granulats fins (filler et sable) pour les faibles épaisseurs et l'autre intégrant des granulats de

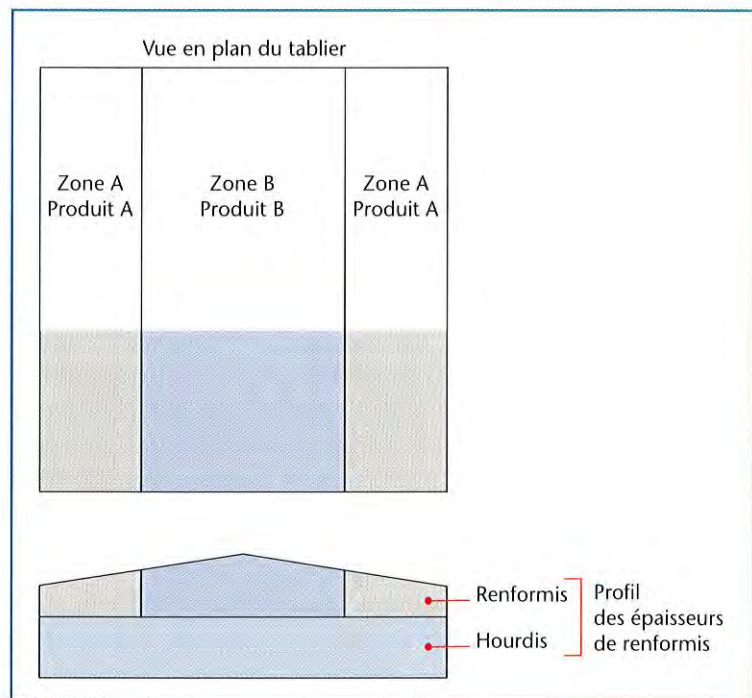


Figure 10 – Localisation de différents types de matériaux pour réaliser le renformis

taille plus importante pour les fortes épaisseurs (fig. 10, 11, 12 et 13). La présence de granulats permet, en outre, de baisser le coût volumique du renformis. Le tableau I donne des indications quant au type de matériau à base de liant hydraulique à utiliser en fonction de l'épaisseur.

Tableau I – Nature des produits en fonction des épaisseurs mises en œuvre (indicatif)

Épaisseur indicative à mettre en œuvre / Nature du produit		
< 0,5 cm	0,5 à 3 cm ****	> 3 cm
Mortier époxydique (***)	Mortier LHM (*) (**)	Béton hydraulique 0/6 à 0/10

(*) LHM liant hydraulique modifié [5].

(**) Granularités des sables et granulats variables en fonction de l'épaisseur ; par exemple 0/4 de 1,5 cm à 3 cm.

(***) L'épaisseur peut être plus importante mais ce n'est plus pertinent sur le plan économique.

(****) Limite inférieure 0,5 à 2 cm en fonction des matériaux et du trafic.

Suite au retour d'expérience, et dans la mesure du possible, le projet prévoiera une épaisseur minimale de béton de 4 à 5 cm en tout point, tout ou moins au droit des voies lentes de circulation.



Figure 11 –

À droite, réservation d'une bande latérale de faible épaisseur réalisée en matériau LHM

Figure 12 –

Réalisation de la bande latérale en matériau LHM



Figure 13 –

Aspect du reprofilage terminé



Remarque

Nous ne donnons ci-après que les caractéristiques relatives aux produits hydrauliques.

- **Consistance.** La mise en œuvre et le réglage d'un renformis en matériau hydraulique est un travail essentiellement manuel et une consistance bien maîtrisée du matériau ne peut que faciliter cette mise en œuvre. En maîtrisant la formule employée, en particulier par l'essai de convenance obligatoire, on évitera ainsi les ajouts d'eau improvisés ultérieurs, toujours néfastes *a posteriori* pour les qualités physiques et mécaniques du matériau (chute des résistances). Pour le béton un slump proche de 8 cm (classe S2) est conseillé.
- **Cohésion interne et collage au béton du tablier.** Ces caractéristiques doivent être optimales pour pouvoir supporter un trafic donné et ce, sur des épaisseurs variables et relativement faibles (généralement de 3 à 10 cm). La principale origine de la dégradation d'un renformis est liée au phénomène de fatigue qui intervient lors de battements et vibrations de cette structure. Il faut donc, pour le concepteur, veiller à la fois à la qualité intrinsèque des matériaux employés mais aussi et surtout à la qualité de la liaison du renformis au tablier existant pour limiter les décollements, et ainsi viser une durée de vie de plusieurs dizaines d'années.
- **Durée de séchage et de durcissement.** C'est un compromis entre les exigences du gestionnaire qui la souhaite la plus courte possible pour la mise en service et la **durée minimale de séchage** compatible avec la mise en place du complexe étanchéité/couche de roulement et qui dépend de la nature de ce dernier ; par exemple pour une solution classique de chape d'étanchéité en feuille préfabriquée monocouche (FPM), un délai de 15 jours est un minimum (fonction de l'épaisseur du renformis et de la saison).
- **Retrait limité (ou « retrait compensé »)** pour éviter la fissuration du renformis. La mise en œuvre d'un renformis, béton jeune sur béton ancien, provoque une fissuration de « retrait gêné » ; pour éviter ou diminuer ce phénomène ou en réduire les conséquences, on peut :
 - soit utiliser des matériaux à retrait réduit,
 - soit introduire des fibres (synthétiques ou métalliques) qui limitent la fissuration au jeune âge ; ceci est à relier au paragraphe « limitation des effets du retrait » du § 3.1.3.

L'emploi de béton fibré nécessite une épreuve d'étude de formulation puis de convenance.

Par ailleurs les dispositions prises lors de la mise en œuvre, comme la réalisation de joints secs et une cure du béton frais permettent de limiter et de contrôler la fissuration du renformis (cf. 3.1.3).

- **Caractéristiques mécaniques.** Par définition, le renformis s'appuie directement sur le hourdis en place et n'a pas de fonction de reprise des efforts structuraux. Il n'est donc pas *a priori* soumis à des efforts très importants. Néanmoins, les **résistances mécaniques** du matériau devront satisfaire à des valeurs minimales pour résister à d'éventuels décollements ou pour s'adapter à des structures particulièrement souples (ponts métalliques). En fonction de la taille maximale des granulats entrant dans la composition du produit, on pourra confectionner des échantillons de différents types :
 - éprouvettes primastiques 4 x 4 x 16 cm pour des mortiers 0/4. Ces éprouvettes permettent de réaliser des essais de flexion et de compression. On peut attendre des résultats à 7 jours supérieurs à 4 MPa en flexion et à 25 MPa en compression et à 28 jours au-delà de 8 MPa en flexion et 30 MPa en compression,
 - éprouvettes cylindriques (ou cubiques) pour des bétons. On peut soumettre ces échantillons à des essais de compression. Les résultats attendus seront de l'ordre de ceux attendus pour les éprouvettes 4 x 4 x 16 cm.

On donne, en annexe 2.2, des exemples de procédés et matériaux utilisés dans le cas d'un béton classique ou modifié par des polymères.

3.1.2. Travaux préalables à la réalisation du renformis en béton (ragréages)

■ **L'opération de démolition** du complexe existant peut avoir dégradé localement le béton du tablier, voire les armatures ; des travaux de réparation locaux sont alors à effectuer : traitement des aciers, ragréages en mortiers hydrauliques spéciaux (modifiés aux polymères) ou mortiers époxydiques etc. [5].

Pour ces ragréages, utiliser des produits avec marquage NF (« Produits spéciaux » destinés aux constructions en béton hydraulique - produits de réparation de surface des bétons – P 18840).

Dans le cas de dégradation superficielle du béton de faible profondeur mais généralisée à l'ensemble de l'ouvrage, la réalisation d'un renformis général en béton hydraulique permet d'éviter de nombreux ragréages locaux (ce qui sera différent dans le cas d'un renformis en béton bitumineux).

■ **L'état de surface** disponible après démolition des couches superficielles dépendra du mode de démolition (rabotage, hydrodémolition etc.). Il faudra alors mettre en œuvre les moyens nécessaires pour obtenir un état de surface propre et relativement rugueux pour accroître l'accrochage du renformis au support.

Dans le cas d'un rabotage, le béton présente une bonne cohésion superficielle et un soufflage à l'air comprimé est suffisant.

Si l'ouvrage ne comportait pas de renformis et que la nécessité d'en créer un a été avérée (obtention d'un dévers par exemple), il conviendra d'enlever par sablage voire par grenailage l'intégralité des résidus d'anciennes chapes d'étanchéité.

3.1.3. Mise en œuvre du renformis en matériau hydraulique

■ La couche d'accrochage

Préalablement à la mise en œuvre du produit hydraulique de renformis sur l'ouvrage, on réalise généralement une couche d'accrochage destinée à assurer la bonne adhérence du renformis au support. Celle-ci peut-être de nature différente en fonction du produit hydraulique choisi. Il s'agit généralement de barbotines d'accrochages (au LHM), décrites dans les fiches techniques des produits hydrauliques spéciaux employés (fig. 14).

- ces fiches techniques mentionnent également les spécifications de mise en œuvre en particulier l'humidification préalable des supports ;
- du fait des délais de durcissement très courts des résines époxydiques, leur emploi dans des réparations de grandes surfaces nécessitent de grandes précautions.



Figure 14 –

Barbotine d'accrochage au balai

Ces précautions doivent de toute façon être prises lors de la mise en œuvre des produits d'accrochage ; les couches d'accrochage de renformis ne doivent pas être mises en place en une seule phase sur l'ensemble de l'ouvrage mais à l'avancement ; on se prémunit ainsi des problèmes de souillures de ces couches lors des circulations propres au chantier, et surtout on évite la prise (séchage/durcissement) anticipée de celles-ci avant mise en place du renformis ; ceci les rend peu efficaces en ce qui concerne la fonction d'adhérence recherchée (voire rend l'adhérence nulle dans le cas des résines époxydiques).

■ **Le renforcement de l'accrochage par des fers scellés.** Une disposition constructive parfois employée consiste à améliorer l'adhérence du renformis par le scellement de fers dans l'existant. On crée ainsi des points d'ancrage solides. À noter que cette technique nécessite de nombreux trous dans le tablier et donc impose des précautions et un repérage préalable des armatures en place à partir de moyens d'investigations non destructifs. Il est néanmoins possible de se passer de cette disposition en mettant en œuvre correctement une couche d'accrochage.

■ **Coulage du renformis.** L'approvisionnement du chantier en produit dépend à la fois de la taille de l'ouvrage et de l'organisation du coulage. Pour des petits ouvrages, la préparation du produit peut être réalisée sur chantier à l'aide d'une bétonnière s'il s'agit de produits spéciaux livrés en kit (fig. 15). Dans le cas d'ouvrages plus conséquents, il est possible d'être approvisionné par une centrale auquel cas il faudra disposer d'une équipe sur site suffisamment nombreuse pour mettre en œuvre rapidement la quantité de produit amenée. Du fait des faibles épaisseurs de produit à mettre en œuvre, le mode de vibration est à étudier (par exemple règle vibrante, damage).



Figure 15 – Gâchage sur chantier d'un matériau LHM livré en kit

■ **Le réglage du renformis.** Pour les ouvrages profilés en toit, le réglage se réalise par demi-ouvrage. Il est effectué au moyen de règles. Le béton est ensuite taloché. Le talochage doit être soigné de façon à permettre une application sans risque d'une chape d'étanchéité en feuille. La profondeur moyenne de texture PMT (ex hauteur au sable HSV) conseillée est de l'ordre de 1 à 1,5 mm maximum et la surface ne doit pas présenter de trous (traces de bottes, de madriers) et de bosses. La planéité requise est de :

- 5 mm sous la règle de 2 mètres
- 2 mm sous la règle de 20 centimètres.

Elle correspond aux parements fins du fascicule 65 A du CCTG (§ 5.2.2.1) [6]. On peut se reporter au dossier pilote STER 81 [1] et au fascicule 67 titre I du CCTG [8].

■ **La limitation des effets du retrait.** Pour éviter l'apparition d'une fissuration chaotique du renformis (fig. 16), certaines dispositions doivent être prises.



Figure 16 –

Fissures sur renformis neuf

- L'importance du choix d'un matériau à retrait limité a déjà été évoquée au § 3.1.1. Pour l'emploi de produits spéciaux, il convient de se référer à la fiche technique du produit fournie par le fabricant. Pour les bétons, il convient d'opter pour un dosage en ciment au plus égal à 400 kg/m^3 , un rapport E/C de l'ordre de 0,4 à 0,45 et un choix approprié du ciment (en terme de vitesse de prise et de chaleur d'hydratation).
- Outre les caractéristiques intrinsèques du matériau, il faut prévoir une mise en œuvre particulière de celui-ci. Il est bienvenu de créer des joints secs dans le renformis en créant des plots (fig. 17, 18a, 18b et 19). Ces joints secs peuvent être créés de plusieurs façons : on peut prévoir des tranchées du renformis encore frais à l'aide de truelle sur les 2/3 de l'épaisseur du renformis ou après durcissement un trait de scie sur une partie de l'épaisseur ou encore une mise en œuvre du renformis plot par plot en damier. La création de ces plots permet d'éviter une fissuration chaotique en localisant la fissuration au niveau des joints secs créés. Pour que cette fonction soit bien assurée, les plots doivent avoir des dimensions d'environ 3 à 4,5 mètres.

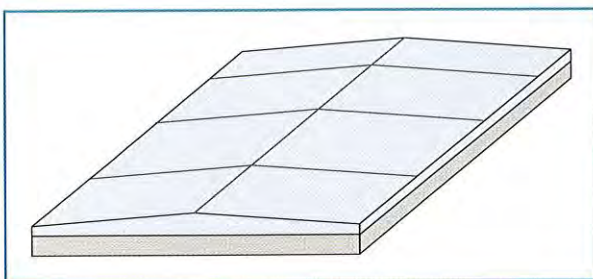


Figure 17 –

Réalisation de joints secs pour limiter la fissuration du renformis en béton



Figure 18a et 18b – Mise en place par plot au râteau et à la truelle (à noter les stries sur le béton du tablier dues au rabotage)



Figure 19 –

Aspect des plots alternés successifs

– Enfin, **une cure du matériau est obligatoire**. L'utilisation de produits de cure spéciaux (fig. 20) ne pourra se faire que sous réserve de leur compatibilité avec le type de complexe d'étanchéité à venir, à défaut de réels problèmes d'adhérence peuvent se poser. Par exemple pour une chape d'étanchéité en feuille **dans la majorité des cas, le produit de cure devra être éliminé, par décapage** à l'abrasif ou eau à très haute pression (> 50 MPa). Il est bien sûr toujours possible d'envisager une cure à l'eau (mise en place d'un géotextile humidifié) à condition de maîtriser la procédure (temps opportun et homogénéité de l'arrosage) ; le géotextile doit être choisi et mis en place de manière à ce qu'il ne dépose pas sur la peau du béton des fibres qui resteraient collées au matériau durci (fig. 21).

Figure 20 –

Mise en place du produit de cure (pulvérisation)



Figure 21 –

Après rabotage, reconstruction d'un renformis par bandes longitudinales ; cure à l'eau avec mise en place d'un géotextile



3.1.4. Choix du complexe étanchéité/couche de roulement

Dans le cadre de la mise en œuvre d'un renformis sur un ouvrage qui n'en comportait pas ou si ce renformis a été détruit en service du fait d'une épaisseur insuffisante, il faut noter que le nouveau renformis diminue la hauteur (et la charge permanente) disponible au-dessus du tablier d'où l'intérêt d'un complexe étanchéité/couche de roulement de faible épaisseur (avec les inconvénients cependant que cela induit pour l'exploitation). On évite ainsi de modifier le profil de la voie portée avant et après l'ouvrage.

Le choix est fonction du contexte mais s'oriente généralement vers **une chape à base de feuille préfabriquée monocouche (FPM) car :**

- l'état de surface du nouveau renformis est *a priori* très bon et adapté à la pose d'une chape FPM ;
- les chapes en feuilles ont une faible épaisseur et ont une bonne résistance à la fissuration (instantanée ou active) ;

Pour réduire les risques de gonflement de la chape du fait du jeune âge relatif du renformis béton/support, on peut envisager l'utilisation d'un bouche-pore résine, mais cela nécessite un séchage de ce support béton d'un minimum conseillé de 28 jours dans les actuels avis techniques du SETRA.

Si l'on dispose d'épaisseur plus importante, on peut effectuer une chape FPA ; on peut s'accommoder du jeune âge du béton en réalisant une chape en feuille en semi-indépendance (avec couche de protection spéciale) ou une chape asphalte en semi-indépendance.

Des exemples de complexes d'étanchéité/couche de roulement sont donnés en annexe 3.3.

3.2 Réparations localisées par béton hydraulique de l'ancien renformis en béton

3.2.1. Il convient de distinguer plusieurs cas

- ❶ zones de surfaces importantes où toute l'épaisseur de l'ancien renformis a été enlevée : se reporter au § 3.1 ;
- ❷ dégradations superficielles : se reporter au § 3.1.2. pour des réparations superficielles ;
- ❸ zones localisées de surfaces réduites (ou de volume réduit) où la (quasi) totalité de l'épaisseur a été enlevée ; se reporter au § 3.2.2 ci-après.

3.2.2. Mise en œuvre de réparations localisées

■ Préparation du support

Comme au § 3.1., l'objectif est d'obtenir au niveau du tablier un support sain et cohérent en éliminant par piquage adapté toutes les parties du renformis fissurées et décollées. Cette préparation de support peut être rendue difficile car la cote de ces zones est plus basse que celle des zones adjacentes de renformis non démolies ; ceci rend, par exemple, délicat le décapage à l'eau sous pression car l'eau chargée de poussières fines s'évacue mal et les poussières fines se redéposent sur le support.

Un grenailage est la meilleure solution si la conformation géométrique (dimensions) s'y prête ; à défaut un décapage par projectif d'abrasif (non siliceux) sera effectué.

Remarque. Du fait du **recyclage** de l'abrasif après projection, les conditions d'hygiène lors d'un grenailage sont meilleures que celles correspondant à une projection d'abrasif même non siliceux.

■ Mise en œuvre

Si l'on compare avec une reprise complète du renformis, la reprise locale permet, au niveau du projet, de se caler en altitude sur l'existant.

Les autres dispositions sont comparables à celles prises en compte pour une reprise générale (cf. § 3.1).

Si le projet prévoit une couche de reprofilage généralisée en béton bitumineux avant la chape, il est pertinent, sur les zones de renformis nouvellement réalisées, d'avoir un état de surface à forte macro-rugosité plutôt qu'uni [9] pour améliorer l'accrochage du reprofilage.

3.2.3. Choix du complexe étanchéité/couche de roulement

En comparaison avec le cas du § 3.1. (reconstruction générale) :

- les contraintes d'épaisseurs sont généralement les mêmes ;
- une contrainte spécifique est liée à l'état de surface ; l'ouvrage **présente un état de surface à faciès mixte** :
 - surface importante de l'ancien renformis, dont l'état de surface peut être très variable ; par exemple surface très striée et macro-rugueuse du fait de l'opération de rabotage de l'ancien complexe étanchéité/couche de roulement, **ce qui est incompatible avec la pose d'une chape en feuille (FPM)**,
 - surface plus réduite des zones de réparation en béton hydraulique frais (ou relativement jeune) présentant un bon état de surface mais **dont le jeune âge** est à considérer pour le choix du type de chape.

Le choix du type de chape va dépendre d'abord de l'état de surface du renformis ancien :

- si celui-ci est bon (plaquette P2 du F 67 Titre I ou mieux), on peut opter pour une chape épaisse en asphalte en semi-indépendance ou un complexe à moyen haute cadence (MHC), le choix dépendra de la durée de séchage minimal du béton jeune et de la superficie du tablier,
- si celui-ci est médiocre (par exemple ; cas où un rabotage a été effectué), **un reprofilage généralisé** en béton bitumineux préalable à une chape en feuille semble le plus pertinent, d'autant plus que cette solution peut s'accommoder d'un support béton relativement jeune (8 à 15 jours).

À noter que la chape asphalte en semi-indépendance peut s'accommoder d'un âge du béton neuf plus réduit que pour les chapes en adhérence ; 5 à 10 jours peuvent être suffisants si la saison s'y prête. Une chape en feuille nécessite un minimum de 15 jours. Le cas du MHC est intermédiaire.

Note. *La présence de surfaces plus ou moins importantes de béton « jeune » et la macro-rugosité (après rabotage éventuel) des surfaces adjacentes de béton ancien ne sont pas adaptées à des techniques d'étanchéité telles que les films minces adhérents au support (FMAS) ainsi que celles comportant un traitement du support par film bouche-pores à base de résine.*

3.3 Points forts/points faibles de la technique de renformis en produit hydraulique

■ Points forts

- caractéristiques physiques et mécaniques équivalentes à celle du support (hourdis) et avec les reliquats de renformis restant en place dans le cadre de réparations localisées ;
- faible porosité ;
- mise en œuvre manuelle qui, sous réserve d'un contrôle efficace, permet de s'affranchir des singularités du support ;
- pas de problème d'orniérage ;
- fourchette de variation d'épaisseur possible avec la même formule, plus importante qu'avec un béton bitumineux.

■ Points faibles

- temps de séchage/durcissement à prendre en compte dans le phasage ;
- mode de mise en œuvre non mécanisé (délai d'exécution, surfaces limitées) ;
- dans certains cas, coût élevé des matériaux spéciaux (bétons fibrés, mortiers LHM) ;
- choix du type de chape à optimiser ;
- maîtrise de la fissuration (choix du produit, calepinage, joints, cure).

3.4 Contrôles

L'objectif de ce document n'est pas de détailler les opérations de contrôle habituelles qui peuvent être faites lors de la construction d'ouvrages en béton, mais simplement d'indiquer les points critiques particuliers et points d'arrêts spécifiques à la construction/réparation de renformis.

Ces points particuliers sont mentionnés en annexe 4.

4.

Réhabilitation d'un renformis en béton par un béton bitumeux

4.1 Généralités – cas-types

■ Cas-types

Pour réhabiliter l'ancien renformis en béton, plusieurs cas peuvent faire l'objet d'utilisation de béton bitumineux.

• *Cas 1 - Reconstruction partielle*

- 1.1. sur des zones localisées, purge sur toute l'épaisseur et réparations ; sauf cas très spécial, ce cas 1.1 est du ressort des réparations en béton hydraulique (cf. § 3.2) ;
- 1.2. rabotage sur une épaisseur donnée de l'ensemble de la surface de l'ancien renformis en béton, avec purges et réparations localisées ; ce cas 1.2 est fréquent et après réparations localisées, généralement en béton hydraulique, on réalise un renformis général en **béton bitumineux**.

• *Cas 2 - Reconstruction générale*

- enlèvement sur toute la surface et toute l'épaisseur de l'ancien renformis en béton ; réalisation d'un nouveau renformis en béton hydraulique (cf. § 3.1) **ou béton bitumineux** (§ 4.2).

■ En ce qui concerne la **reconstitution d'une forme de pente**, dans le cas 2, celle-ci sera obtenue en optimisant les modalités de mise en œuvre du béton bitumineux alors que, dans le cas 1.2, on peut jouer à la fois sur celle-ci et sur les modalités de rabotage.

Dans tous les cas, l'état de surface devra être compatible avec la mise en place du béton bitumineux de reprofilage et, le cas échéant, nécessitera des réparations et préparations préalables adaptées.

Remarque. On rappelle l'importance d'optimiser les profils en long et en travers du renformis pour une évacuation correcte des eaux.

■ Choix d'un type de chape d'étanchéité

Dans le processus global de réhabilitation, la mise en œuvre **d'un renformis général en béton bitumineux facilite grandement la mise en place de la chape d'étanchéité** :

- on s'affranchit des irrégularités du support raboté ;
- on diminue les inconvénients liés à la présence de béton très récent sur certaines zones (réparations locales).

Lorsque l'on réalise une **chape d'étanchéité sur une couche de reprofilage** en micro-béton bitumineux (fig. 22) et non directement sur le béton de l'ouvrage, **certaines précautions s'imposent** ; elles sont décrites en § 4.2.2. et font l'objet de l'annexe 3.1 ; ces précautions sont liées au fait que, malgré la bonne compacité du micro-béton bitumineux de reprofilage (pour un béton bitumineux) sa perméabilité est plus forte que celle du béton hydraulique du tablier et qu'il y a lieu d'éviter toute circulation d'eau dans le plan entre la chape en feuille et le béton du tablier.

Figure 22 –

Aspect de la couche de reprofilage en micro-béton bitumineux, support de chape



Une chape en feuille en adhérence totale (FPM) convient parfaitement à ce contexte d'autant plus que la couche de reprofilage présente un bon état de surface qui lui est bien adapté ; cette chape peut être soit mono couche (FPM), soit avec protection asphalte (FPA) s'il n'y a pas de problème d'épaisseur ; une solution en semi-indépendance est envisageable également.

Rien ne s'oppose *a priori* au choix d'une chape MHC si le contexte s'y prête (délais courts, grande surface) ; cependant le retour d'expérience de chape MHC sur reprofilage conduit à réserver cette solution à des cas très spécifiques avec des précautions accentuées pour le traitement de bords (en particulier aux abouts d'ouvrage) et des points singuliers.

4.2 Renformis en béton bitumineux généralisé

Un renformis en béton bitumineux généralisé à l'ensemble des surfaces est plus généralement appelé « reprofilage » ou « couche de reprofilage/support de chape ».

Comme indiqué précédemment au § 4.1, c'est une situation se rencontrant dans deux cas :

- enlèvement partiel (en épaisseur) de l'ancien renformis en béton (cas fréquent) ;
- enlèvement total de l'ancien renformis (plus rare).

4.2.1. Propriétés fonctionnelles et caractéristiques recherchées du béton bitumineux de reprofilage

D'une manière générale, on recherche un matériau qui présente :

- une forte compacité,
- une formulation adaptée à des variations d'épaisseur,
- une bonne résistance à l'orniérage,
- contrairement aux couches de roulement, on ne recherche aucune caractéristique de surface, au contraire l'aspect lisse dans le cas présent est un avantage pour la pose d'une chape en feuille et cette fermeture superficielle réduira les risques d'emmagasiner de l'eau avant la pose de la chape, donc de moindre adhérence et de gonflement ultérieur de celle-ci.

■ Granularité

Compte-tenu des épaisseurs mises en place, **plage normale 20 à 40 mm**, plage extrême 15 à 60 mm, il s'agit généralement d'un **micro-béton bitumineux de granularité 0/6 mm** (quelquefois béton bitumineux 0/10 pour des épaisseurs 20 à 60 mm).

Ce type de produit, **qui n'est pas normalisé**, peut être un enrobé de reprofilage utilisé classiquement en reprofilage de chaussées, mais dont la courbe granulométrique et la teneur en liant ont été adaptées pour qu'il constitue un support susceptible de recevoir une chape d'étanchéité par feuilles préfabriquées monocouches (FPM) et apte à supporter les contraintes fonctionnelles correspondant à l'usage. Cet enrobé 0/6 dit de « reprofilage » est théoriquement utilisable entre 15 et 30 mm d'épaisseur ; en fait, comme indiqué précédemment **en tant que support de chape, son épaisseur est de 20 à 40 millimètres**.

■ Maniabilité

- une grande maniabilité est nécessaire pour une mise en place en faible épaisseur (à partir de 15 mm) et ce, même à basse température,
- caractéristique PCG (Presse à Compactage Giratoire) : à titre indicatif à 60 girations, % vide ≤ 6 %.

■ Compacité

- on recherche une compacité élevée (de l'ordre de 95 %), ce qui confère à l'enrobé en place un pourcentage de vide inférieur à 5 % et un aspect « fermé », qui facilite la mise en œuvre de la chape d'étanchéité en feuille (FPM) et, en particulier, permet une bonne adhérence de celle-ci ;

■ Résistance à l'orniérage

- c'est une caractéristique importante, car le contexte général (matériau riche en mastic, support rigide) est propre à favoriser l'orniérage ;
- le contexte local peut exacerber le phénomène – voie lente, ouvrage en pente, épaisseur du reprofilage dans le haut de la plage spécifiée ;
- comportement à l'essai d'orniérage (simulateur de trafic) ; à titre indicatif pour les bétons bitumineux à base de liants BMP (bitume modifié polymère) une déformation inférieure à 5 % à 10 000 cycles à la température de 60° sur éprouvettes de 5 cm d'épaisseur est bonne et généralement suffisante et la même déformation à 30 000 cycles est très bonne.

Pour les bétons bitumineux à base de bitume non modifié, on ne connaît pas actuellement le niveau à adopter pour cette caractéristique, les formulations sont choisies en fonction du contexte et de l'expérience locale.

■ Formulation

Du fait de l'absence de « norme produit » pour ce type de produit, on dispose rarement de résultats complets d'études de formulation permettant de fixer des spécifications en terme de performances mécaniques (résistance en compression, résistance à la déformation).

Par expérience et à titre indicatif, les formules de micro-béton bitumineux 0/6 employées en reprofilage sur les ponts route présentent les caractéristiques suivantes :

Module de richesse	≥ 4
Teneur en liant (*)	≥ 7 %
% de passant à 63 µm	≥ 9 %
% de passant à 2 mm	≥ 45 %

(*) bitume non modifié

Par rapport aux formules de base utilisées en chaussées, la formule retenue se caractérise par la présence plus importante de « mastic » bitumineux entourant les granulats.

Dans le cas d'utilisation d'un bitume non modifié, celui-ci est **généralement un bitume pur de grade 35/50**.

L'utilisation de bitume modifié par des polymères peut s'avérer très intéressante pour obtenir les caractéristiques précitées mais ne peut être préconisée systématiquement, car celle-ci dépend de la capacité des centrales d'enrobages locales à fournir et toutes n'ont pas la possibilité d'un stockage à l'année de ce type de bitume ; on peut ainsi rencontrer, dans certaines régions, des difficultés pour avoir des fournisseurs de certaines formules d'enrobés à base de bitumes modifiés par des polymères, compte-tenu des faibles tonnages que représente un ouvrage courant (50 à 100 tonnes d'enrobé de reprofilage). À noter qu'il existe également des liants dont la modification se fait par ajout de polymère sous forme solide (granulés ou poudre), en centrale (poste discontinu), ce qui ne nécessite pas de stockage de liant modifié.

Des exemples de formulation de granulés ou poudres sont données en annexe 2.3.

Note 1. Dans le cas où le reprofilage est réalisé préalablement à la mise en œuvre d'une étanchéité par MHC (moyens haute cadence), la formule d'enrobé 0/6 doit être définie par l'entreprise détentrice du procédé MHC.

Note 2. Quel que soit le type d'enrobé (liant pur ou modifié), il s'agit de formulations spécifiques et du fait des faibles tonnages fabriqués, il convient de prendre des dispositions pour éviter des problèmes d'hétérogénéité.

4.2.2. Mise en œuvre

■ de la couche de reprofilage

- **ragréages préalables** : l'enrobé de reprofilage/support de chape peut être mis en œuvre sans ragréage préalable du support béton si les déformations de celui-ci sont inférieures à 30 mm sous la règle de 3 m, tout en restant dans les tolérances d'épaisseurs mentionnées précédemment ;
- purges et réparations locales préalables éventuelles (traitées au § 3.2 et § 4.3) ;
- **nettoyage du support** : si la cohésion superficielle du renformis en béton en place est bonne, un soufflage à l'air comprimé est suffisant ;

Le nettoyage à l'eau moyenne pression (15 MPa) est également possible. Une attention particulière est à apporter dans le cas des pentes faibles car de la poussière est entraînée et décantée dans les creux et il est difficile de s'en débarrasser ; un soufflage immédiat à l'air comprimé favorise cet enlèvement ;

- **relevé topographique** : généralement utile voire indispensable ;
- **épannage d'une couche d'accrochage** : c'est une couche d'émulsion bitumineuse (liant résiduel de 250 à 350 g/m²) ou un vernis bitumineux* (dosage résiduel habituel de 150 à 200 g/m²). L'émulsion doit être exempte de chlorures (à base d'acide phosphorique, par exemple) pour ne pas risquer d'altérer le béton et les aciers du tablier ; elle est mise en œuvre à la répandeuse à liant (fig. 23) ;



Figure 23 –

Épannage de couche d'accrochage sur le support béton (attention au peignage)

- **mise en œuvre du béton bitumineux 0/6 de reprofilage au finisseur** (fig. 24) : la mise en œuvre est réalisée avec un finisseur en vis calées lorsque les déformations sont de courtes longueurs d'onde (de l'ordre du mètre) ou que l'ouvrage est de faible longueur. Lorsque les défauts d'uni sont de moyennes longueurs d'onde (dizaine de mètres) et que l'ouvrage est de grande longueur (viaduc), la mise en œuvre peut être réalisée avec un finisseur guidé sur référence mobile (guidage à la poutre) plus rarement par référence fixe (guidage au fil).

Le mode de réalisation – demi-chaussée ou pleine chaussée – avec un ou deux finisseurs en parallèle dépend du contexte : dimension de l'ouvrage, nature des pentes transversales à donner, possibilité de fermeture de l'ouvrage, etc.

- **compactage** par cylindre (tandem de type VT 1 à VT 2) utilisé en lisse sans vibration (fig. 25) ; cette dernière étant interdite voire très limitée sur les ouvrages d'art en fonction de leur type ; de nouveaux matériels « rouleaux vibrants oscillants » peuvent être intéressants, après acceptation du maître d'œuvre.



Figure 24 – Mise en œuvre au finisseur par demi-chaussée de la couche de reprofilage

* Solution d'un bitume (ou bitume modifié au polymère) à 50 % (environ) dans un solvant (type xylène).

Figure 25 –

Compactage avec cylindre tandem VT2 (sans vibration)



■ de la chape FPM

Se reporter à l'annexe 3 pour les précautions à prendre relatives à la réalisation d'une chape FPM sur un reprofilage en béton bitumineux :

- **traitement impératif des points singuliers** (gargouilles et autres traversées), et des abouts transversaux (joints de chaussée) (fig. 26) et longitudinaux de l'ouvrage (relevés), par un solin coulé en bitume-polymère pour éviter que de l'eau ne puisse pénétrer dans la couche de reprofilage sous la chape et y cheminer ;

Figure 26 –

Réalisation d'un reprofilage/support de chape en micro béton bitumineux au droit d'un joint de chaussée restant en place ; la réservation sera obturée au bitume polymère



- soudage à chaud de la feuille et « en plein » au support **sans couche préalable d'accrochage**, (émulsion ou vernis) (fig. 27 et 28) ; l'usage d'une machine de pose automatique sera privilégié ;
- propreté du support ; poser la feuille au plus vite après la réalisation du reprofilage (en respectant évidemment le délai de refroidissement de celui-ci) pour éviter la contamination de la surface par de la poussière ;
- le support doit être sec ; l'humidité résiduelle adsorbée dans le support (légèrement poreux malgré sa compacité élevée) perturbe l'adhérence des feuilles et favorise des phénomènes de gonflement ultérieurs.



Figure 27 – Soudage manuel de chape FPM sur la couche de reprofilage ; le soudage par machine automatique est à privilégier



Figure 28 – Aspect de la chape d'étanchéité FPM terminée

4.2.3. Points forts/points faibles de la technique du reprofilage généralisé en béton bitumineux

■ Points forts

- facilité et rapidité de mise en œuvre liées à l'utilisation de matériels routiers ;
- la mise en œuvre au finisseur confère une bonne maîtrise de la géométrie (pentes longitudinales, transversales) ;
- délai très réduit avant mise en œuvre de la chape FPM (par rapport aux renformis à base de liants hydrauliques).

■ Points faibles

- bien que la formulation de l'enrobé vise à obtenir un matériau en place de faible porosité, un enrobé possède toujours une porosité interne résiduelle et est susceptible, par mauvaises conditions climatiques (pluie, humidité), d'emmagasiner de l'eau. Cette eau enfermée dans la porosité de l'enrobé est de nature à nuire au collage des feuilles d'étanchéité et peut éventuellement favoriser les problèmes de gonflement. Il est donc recommandé que le reprofilage soit exempt d'humidité (et d'y veiller particulièrement) et de réaliser par conséquent les travaux en périodes climatiques favorables. À noter que ces phénomènes sont beaucoup moins accentués si l'enrobé présente une bonne fermeture superficielle ;
- si la chape FPM est localement défailante (relevés, raccords aux joints de chaussées et aux gargouilles), l'eau infiltrée peut circuler entre chape et béton du tablier dans le plan du renformis, ce qui est préjudiciable pour la protection de l'ouvrage – des précautions spécifiques sont donc à prendre (cf. annexe 3).

4.2.4. Contrôles

Cf. annexe 4.

4.3 Réparation locale du renformis en béton hydraulique par un béton bitumineux

Remarque préalable. Il est rappelé que, pour la réparation de bétons hydrauliques, il existe des produits spécifiques à base de liants hydrauliques classiques ou de produits spéciaux mieux adaptés que les matériaux bitumineux. En effet, ces produits hydrauliques présentent des caractéristiques chimiques et mécaniques proches de celles du matériau à réparer et se prêtent mieux à la mise en œuvre manuelle. Néanmoins, des sujétions de chantier très particulières (surfaces à traiter importantes, délais de réalisation, coûts) peuvent conduire au choix de réparations localisées avec un enrobé bitumineux ; ceci peut être en particulier le cas d'ouvrages très circulés en milieu urbain, pour lesquels la durée minimale de séchage/durcissement d'un béton hydraulique avant la mise en œuvre de la chape et la mise en service peuvent être jugées trop importantes par le gestionnaire de l'ouvrage.

On ne considèrera, ci-après, que le cas de **surfaces importantes** à réparer (plusieurs centaines de mètres carrés) (fig. 29) ; ceci est par exemple le cas sur un ouvrage à 2 x 2 voies à fort trafic poids lourds, où seule la voie lente serait affectée par une dégradation par fatigue quasi généralisée du renformis en béton ancien ; de petites surfaces doivent faire l'objet de réparations en bétons hydrauliques spéciaux, adaptés à ce contexte.

4.3.1. Problème posé

Par sa nature et sa fonctionnalité première, l'ancien renformis en béton a une *épaisseur variable* (généralement de 4 à 15 cm), le choix du béton bitumineux de remplacement est donc très délicat puisqu'il doit :

- être le **moins déformable possible**, puisqu'il va être adjacent à des zones où on laisse en place un béton hydraulique, qui a une « rigidité » beaucoup plus forte que la sienne aux températures d'usage habituelles ;
- être apte à une mise en place en *épaisseurs très variables* tout en conservant en tout point les compacités optimum ; ceci se complique un peu plus par la quasi impossibilité de vibrer. Sa porosité (6 à 10 %) sera donc forte par rapport au béton hydraulique adjacent.

Ces deux matériaux se comportent différemment notamment aux variations extrêmes de température de service ; dans le cas du béton bitumineux un fluage est à craindre en fonction du contexte (voie lente, trafic) aux températures de service élevées, si les épaisseurs sont fortes même en prenant des matériaux résistant à l'orniéage (cf. § 4.2.1).

Ces différences de caractéristiques et de comportement avec le béton hydraulique adjacent peuvent occasionner dans le temps l'apparition de dégradations telles que des affaissements ou des fissures.

Ce type de réparation doit donc rester très exceptionnel.

4.3.2. Choix du matériau et modalités de mise en œuvre

Se reporter à l'annexe 2.3.

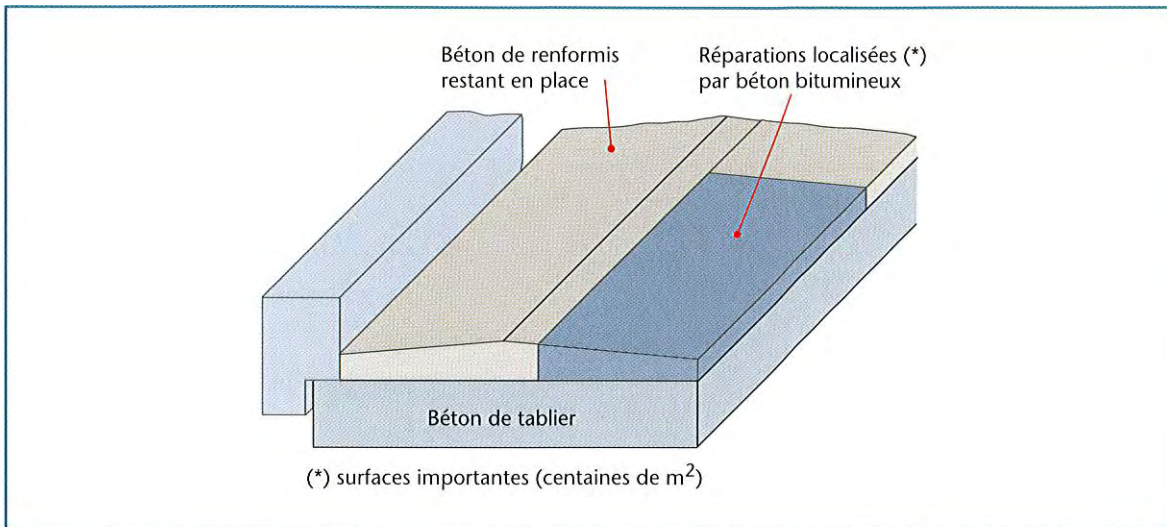


Figure 29 – Cas exceptionnel d'une réparation locale du renformis par un béton bitumineux – coupe en travers (simplifiée) du tablier et du renformis

5.

Avantages et inconvénients comparés de chaque solution de réhabilitation, béton hydraulique ou béton bitumineux

Comme éléments de comparaison entre les deux méthodes, béton hydraulique ou béton bitumineux, on peut citer :

- la taille de l'ouvrage. La mise en œuvre d'un renformis à base de produits hydrauliques est moins mécanisée que celle d'un renformis à base de produit hydrocarboné qui fait intervenir des engins de type finisseur. Parce qu'elle implique la participation entre autres de coffreurs ou de talocheurs, la mise en œuvre d'un renformis en matériau hydraulique sera particulièrement adaptée aux ouvrages petits ou moyens (500 à 1 000 m²). La souplesse de la mise en œuvre permet de mieux traiter les singularités (zones d'abouts, accotements). En revanche, sur des grands ouvrages (> 1 000 m²), à moins d'adaptation spécifique de moyens en matériel et personnel, ce travail très manuel est moins compétitif qu'une mise en œuvre mécanisée de renformis à base de liant hydrocarboné ;
- le béton hydraulique s'accommode, pour une même formule, de variations d'épaisseur plus importantes qu'un béton bitumineux ;
- le temps disponible ;
- perméabilité très réduite pour béton hydraulique.

Dans tous les cas ci-dessous, on suppose que l'enlèvement du complexe étanchéité/couche de roulement a été réalisé par rabotage.

Avantages	Inconvénients	Observations
<ul style="list-style-type: none"> • Démolition générale du renformis et reconstruction avec nouveau renformis en béton 	<ul style="list-style-type: none"> – solution homogène – choix étendu de type de chape – chape en feuille (FPM ou FPA), asphalte, MHC – économique et gain de temps – bonne compatibilité entre nouveaux et anciens matériaux 	<ul style="list-style-type: none"> – coût élevé – précautions pour maîtriser le retrait – utiliser des bétons spéciaux et performants pour une bonne durabilité
<ul style="list-style-type: none"> • Démolition localisée du renformis et réparation par béton hydraulique 	<ul style="list-style-type: none"> – on n'est pas sûr de la durabilité de ce qu'on laisse en place – délai de séchage des zones réparées – l'état de surface du renformis restant en place est généralement mauvais (du fait du rabotage) et le choix du nouveau complexe est restreint 	<ul style="list-style-type: none"> – solution la plus utilisée – généralement chape FPM sur reprofilage généralisé en micro béton bitumineux
<ul style="list-style-type: none"> • Démolition générale et reconstruction par un renformis en béton bitumineux 	<ul style="list-style-type: none"> – gain de temps pour la réalisation – pas de délai de séchage avant réalisation de la chape d'étanchéité 	<ul style="list-style-type: none"> – on peut réaliser ensuite facilement une chape en feuille ou un complexe MHC (si problème de délai)
<ul style="list-style-type: none"> • Démolition localisée du renformis en béton et réparation par béton bitumineux 	<ul style="list-style-type: none"> – solution non homogène à caractère très exceptionnel (présence contiguë de béton hydraulique rigide et béton bitumineux moins rigide d'où tassement différentiel possible en fonction des épaisseurs et du trafic 	<ul style="list-style-type: none"> – pour le complexe chape d'étanchéité/couche de roulement : <ul style="list-style-type: none"> • soit feuille FPM sur couche support générale en micro-béton bitumineux • soit complexe MHC directement si l'état de surface du renformis en place le permet

6.

Conclusion

La réhabilitation d'un renformis en béton sur tablier d'ouvrage d'art peut être rendue nécessaire par la dégradation fonctionnelle du complexe étanchéité/couche de roulement : dégradations localisées de la couche de roulement, perte d'étanchéité, etc.

Cette opération constitue un projet délicat car malgré les sondages et investigations préliminaires, il est toujours difficile de savoir ce que l'on va découvrir localement en cours de travaux en ce qui concerne l'épaisseur, l'état du renformis en place et la facilité ou non de son enlèvement.

On sait que ces aléas en cours de chantier peuvent être très préjudiciables en termes financiers et surtout de délais.

Il semble donc préférable de s'en tenir généralement à un projet d'ampleur limitée, basé sur un enlèvement par rabotage du complexe étanchéité/couche de roulement suivi, éventuellement, d'un rabotage superficiel complémentaire du renformis et d'une démolition sur toute leur épaisseur des seules zones de renformis dégradées. Les moyens lourds de démolition de renformis sont à proscrire car le risque d'endommagement de la structure est important.

La reconstitution des zones dégradées se fait de manière logique avec un béton hydraulique mais il faut accepter, dès l'élaboration du projet, de prendre en compte un délai de séchage minimal de 15 jours avant mise en place de la chape d'étanchéité ; dans des cas très exceptionnels où ce délai est incompatible avec l'exploitation de l'ouvrage, on peut examiner une solution de réparation locale du renformis avec des bétons bitumineux à caractéristiques très optimisées.

Il convient de prendre toute disposition constructive (plots alternés, joints) pour limiter la fissuration au retrait ; des champs de recherche restent ouverts pour promouvoir des bétons hydrauliques adaptés à ce contexte (prise rapide, retrait limité, adéquation avec les divers types possibles de chapes d'étanchéité, compatibilité, adhérence de la chape).

Une importance particulière (relevé topographique) est à apporter à l'optimisation des profils en long et en travers au niveau du support de chape pour permettre une bonne évacuation des eaux.

En ce qui concerne le choix du type de chape d'étanchéité, il faut prendre en compte que l'état de surface du béton de renformis restant en place après rabotage est mauvais ; dans ce cas la technique de reprofilage généralisé par micro béton bitumineux comme support de chape est rapide et particulièrement adaptée ; sur ce reprofilage, c'est le choix d'une chape en feuille préfabriquée monocouche soudée en plein (FPM) qui semble le plus pertinent – elle peut être recouverte d'asphalte si les épaisseurs disponibles pour le complexe le permettent.

Il convient de rappeler dans le cas de cette technique de chape sur couche de reprofilage, toute l'importance à accorder au traitement d'étanchéité des points singuliers (joints de chaussée, relevés, traversées diverses) pour éviter toute entrée d'eau et circulation de celle-ci entre la chape et le béton du tablier.

Sur de grands ouvrages, il convient de multiplier les reconnaissances sur l'état du renformis en place (épaisseur, adhérence, cohésion) pour optimiser le projet et limiter les aléas en cours de chantier ; de même il est prudent au niveau du bordereau des prix de prévoir des prix supplémentaires relatifs à divers modes de démolition ou divers types de matériaux de reconstruction (béton hydraulique ou bitumineux), pour faciliter en cours de chantier la prise de décisions de modifications éventuelles du projet initial et ce, sans surprise financière majeure.

La réhabilitation de renformis en béton sous chape est une opération lourde et techniquement délicate mais qui, moyennant des précautions au niveau du projet, peut se réaliser dans de bonnes conditions de coûts, de délais et d'efficacité.

7.

Annexes

Annexe 1 ■ Synoptiques

Annexe 1.1. Des actions et décisions

Annexe 1.2. Technique

Annexe 2 ■ Nature et caractéristiques des matériaux utilisés

Annexe 2.1. Descriptif général

Annexe 2.2. Réhabilitation de renformis en béton par béton hydraulique et résines

Annexe 2.3. Réhabilitation de renformis en béton à partir de matériaux bitumineux – couche de reprofilage

Annexe 3 ■ Réparations localisées ou généralisées en béton bitumineux

Annexe 3.1. Précautions relatives à la réalisation d'une chape en feuille sur reprofilage/support de chape en micro-béton bitumineux.

Annexe 3.2. Réparations localisées d'un renformis en béton par un béton bitumineux – choix du matériau et des modalités de mise en œuvre

Annexe 3.3. Choix d'un complexe étanchéité/couche de roulement

Annexe 4 ■ Les contrôles

Annexe 5 ■ Bordereau des prix-type

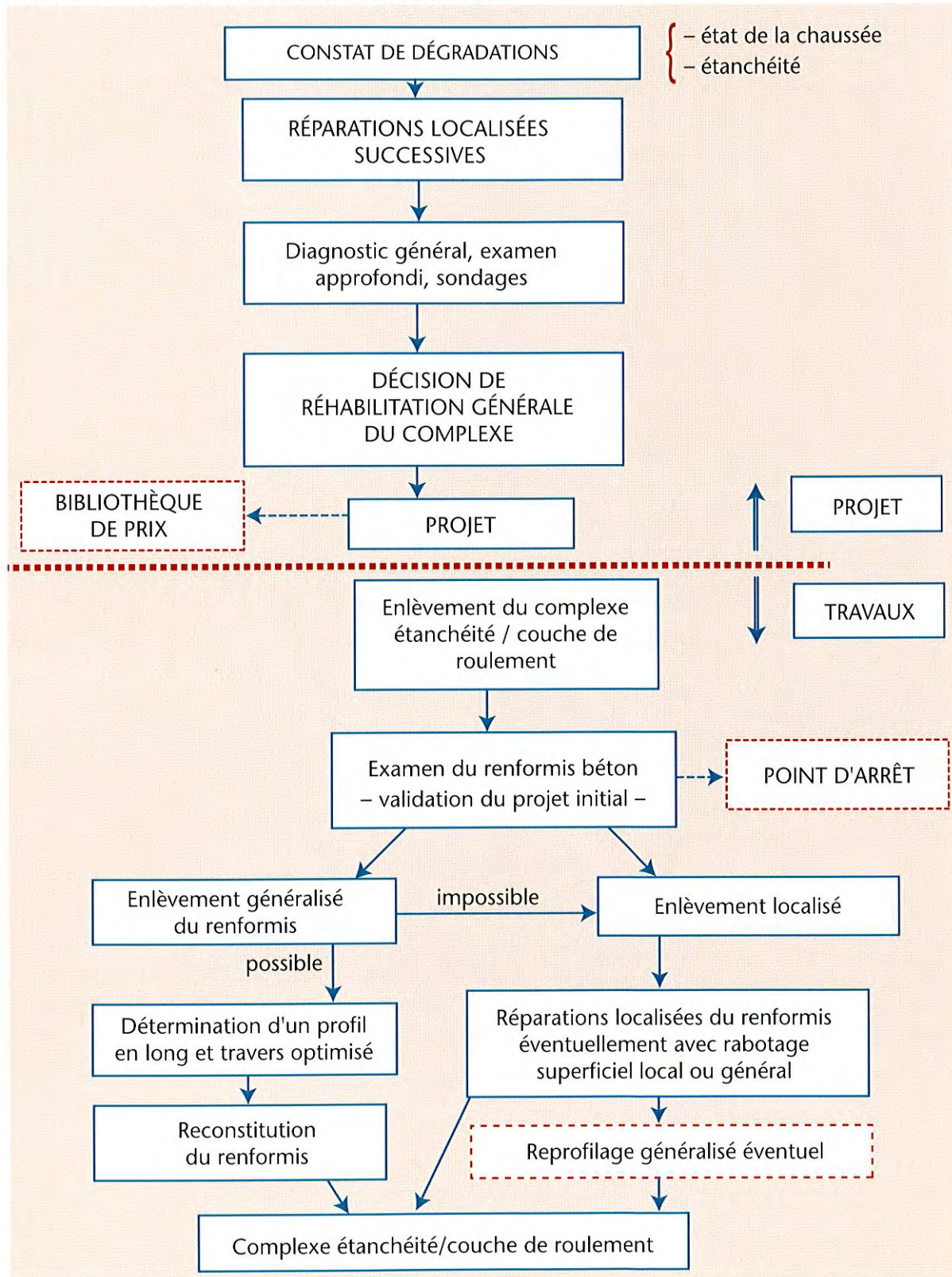
Annexe 6 ■ Bibliographie et documents

Annexe 7 ■ Autres photographies

Annexe 8 ■ Glossaire

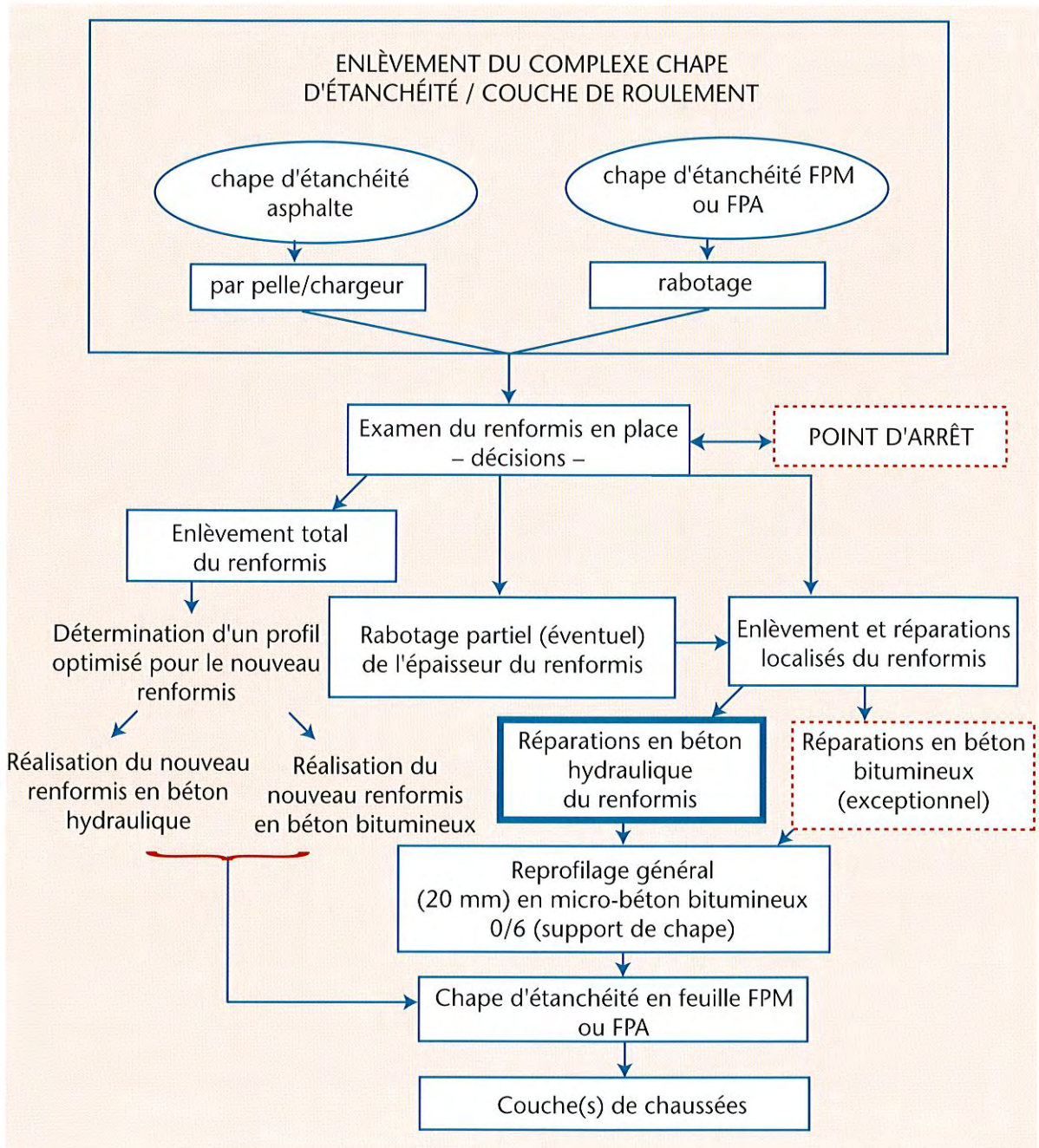
Annexe 1 – Synoptiques

Annexe 1.1. Des actions et décisions



Remarque. On note les nombreuses options possibles, avec pour certaines des décisions en cours de travaux, ce qui justifie une « bibliothèque » de prix exhaustive dans les pièces de marché.

Annexe I.2 Technique (*)



(*) Il s'agit des options techniques les plus courantes (pour le détail se référer au texte).

Annexe 2 – Nature et caractéristiques des matériaux utilisés

Annexe 2.1. Descriptif général

TYPE	CAS	FONCTION	NATURE, CARACTÉRISTIQUES ET MODALITÉS DE MISE EN ŒUVRE
LIANTS HYDRAU- LIQUES (« BLANC »)	1	Ragréages localisés du renformis béton en place (quelques dm ² à 1 m ²)	– Épaisseur ≥ 1 cm (***) : mortier ou micro-béton LHM (*) ou époxydique – Épaisseur < 1 cm (***) : mortier de résine époxydi- que (*)
	2	Reconstruction locali- sée de renformis béton (plusieurs m ² à plusieurs dizaines de m ² – épaisseur de 3 cm à 10 cm et plus)	– Micro-béton et bétons hydrauliques – Nature (liant normal ou modifié), formule et épais- seur minimum à définir (en fonction du trafic) et du produit – Plan de collage au tablier
		Reconstruction générale	– Idem cas précédent
LIANTS BITUMI- NEUX (« NOIR »)	3	Déflachage (**) sur tablier ou sur renfor- mis béton en place ou reconstruction localisée de renfor- mis béton (rare)	– Micro-béton bitumineux 0/6, 0/10 ou 0/14, forte maniabilité, antiorniérant – Liant normal ou fortement enrichi en polymère (***) – Épaisseur par couche : 4 à 5 cm maxi ; épaisseur totale 8 à 10 cm maxi ; épaisseur mini 10 mm (théori- que) fonction du produit – Mise en place au finisseur
	4	Ragréage (**) locaux du tablier ou du renformis en béton (uniquement en cas de mise en place de reprofilage en « noir »)	– Micro-béton bitumineux 0/6 de 10 à 40 mm d'épais- seur-caractéristiques identiques à cas n° 5 – Mise en place manuelle
	5	Reprofilage général (**)	– Micro-béton bitumineux 0/6, très grande maniabi- lité, antiorniérant, si possible bitume (fortement) enrichi en polymère (***) – Épaisseur nominale 20 mm (plage possible 15-40 mm) – Mise en place au finisseur
	6	Feuilles préfabriquées (FPM ou FPA)	– Avec avis technique SETRA – Soudées en plein sur support béton ou sur repro- filage en micro-béton bitumineux
	7	Couche de roule- ment (cf. annexe 3.3)	Différentes solutions à optimiser en fonction des épais- seurs disponibles, du type de chape et du trafic. – Béton bitumineux à liant modifié (voire fortement modifié) ou non

(*) De préférence admis à la marque NF « Produits spéciaux destinés aux constructions en béton hydraulique – réparation de la surface des bétons – P 18840 » ; LHM : liant hydraulique modifié.

(**) Tous les déflachages, et reprofilages en matériaux bitumineux se font sur une couche d'imprégnation bitumineuse (émulsion sans chlore) ; le déflachage concerne des zones restreintes de quelques m² ou dizaines de m² avec des épaisseurs de 1 à 10 cm ; le ragréage concerne des zones très restreintes de quelques dm² ou m² avec épaisseur centimétrique.

(***) En fonction des possibilités locales de fabrication (voir texte).

(****) Seuil d'épaisseur donné à titre indicatif ; par précaution, lorsqu'une chape FPM est directement soudée en plein sur un mortier LHM il est conseillé que l'épaisseur de celui-ci soit supérieure à 1 cm pour éviter son décollement par « soufflage » (choc thermique lors du soudage).

Annexe 2.2. Réhabilitation de renformis en béton par béton hydraulique et résines

– Exemples de procédés et matériaux utilisés –

Chantier	Type de réfection	Produits employés	Particularité de mise en œuvre	Constatations
Réfection du viaduc Saint-Jacques à Clermont-Ferrand (1987)	Reprise complète de l'extrados pour obtenir un bon état de surface pour mise en place d'une étanchéité FPM	Micro-béton pour les couches de 2,5 à 4,5 cm : – 400 kg CEM I (CPA) 52,5 R – 700 kg sable 0/4 – 1 150 kg granulats 6/10 – 160 l eau Mortier LHM fibré pour les couches de 0,6 à 3 cm Mortier LHM fibré pour les couches inférieures à 0,6 cm	Mise en œuvre par vibration Slump de 7 cm et résistances de l'ordre de 40 MPa Couche d'imprégnation époxydique Cure par produit de cure chimique	Pas de problème de fissuration particulier
Pont de Charly-sur-Marne (1992)	Reprise complète du renformis de l'ouvrage	Béton à 550 kg : – 550 kg CEM II (CPJ) 45 – 1 090 kg sable 0/5 – 450 kg gravillon 4/10 – 1,375 kg retardateur de prise – 230 l eau Béton dosé à 400 kg	Accrochage par résine époxy pure, enduction réalisée à la balayette Béton tiré à la règle. Talochage Cure chimique Réalisation de saignées à la truelle tous les 5 mètres	Fissuration anarchique du renformis (retrait trop important) Fissuration réduite et uniquement dans les joints
Pont de Quierzy (1992)	Reprise complète du renformis de l'ouvrage	Mortier : – 400 kg ciment CPJ 45 (CEM II) – 1 480 kg sable 0/4 – 1 kg retardateur – 230 l d'eau	Résine d'encollage époxy pure Talochage du mortier tiré à la règle Cure chimique Joints de retrait tous les 4,5 m environ réalisés à l'aide d'une truelle	Pas de problème de fissuration
Ouvrages de Pont-les-Brie (1980)	Dépose et remplacement de l'ancien renformis	Mélange à base de mortier et béton LHM Bandes latérales (5 mm < e < 2,5cm) mortier LHM 4 × 25 kg, 16 à 17 l d'eau	Réalisation en damier Réalisation en damier	Légère fissuration bien localisée au niveau des joints secs Idem

– Exemples de matériaux utilisés –

Chantier	Type de réfection	Produits employés	Particularité de mise en œuvre	Constatations
Ouvrages de Pont-les-Brie (1980)	Dépose et remplacement de l'ancien renformis	Bandes centrales (2,5 cm < e < 6cm) Mélange de mortier LHM (0/4) avec (4 × 25 kg) 60 kg granulats 4/9 de Loire, 15 à 17 l d'eau	Réalisation en damier	Résistances mécaniques : Flexion : – 4,8 et 6 MPa à 7 j – 9,4 et 9,6 MPa à 28 j Compression : – 31,4 MPa à 7 j – 33,9 et 36,4 MPa à 28 j

NB. Les exemples de produits employés ne sont donnés qu'à titre indicatif ; dans chaque cas il convient d'optimiser le choix du produit ou sa formulation en fonction des fiches techniques et éventuellement d'épreuves d'études et de convenance (cf. § 3.1.1.).

Annexe 2.3. Réhabilitation de renformis en béton à partir de matériaux bitumineux – couche de reprofilage

– Exemples de formules de béton bitumineux 0/6 de reprofilage utilisées sur réseau autoroutier

Nature des matériaux	Microdiorite et sables alluvionnaires	Brèche volcanique cinérite	Gabbro		Diorite et sable alluvionnaire
2/6 concassé	46	47	43	47	41
0/4 roulé	10		45	50	
0/2 broyé	42	50	10		46
0/3 roulé					10
Filler	2	3	2	3	3
Bitume 35/50	7 à 7,2	7	7	7	7,2
Module de richesse	4,1 à 4,4	4,1		4,2	4,1
% de passant à :					
0,08 mm	10,6	10,1	10		11,3
0,5 mm	30	23	24		24
2 mm	54,7	52	55		56
4 mm	73,4	74	86		78
6,3 mm	100	100	100		100

– Autres exemples de formules utilisées

Nature des matériaux	Gabbro et alluvionnaire		Silico-calcaire (*)	
Formule (en %)	6/10	40 %	4/6 concassé	40 %
	2/6	19 %	0/4 concassé	30 %
	0/4 Loire	10 %	0/4 roulé	25 %
	0/2	29 %		
	Filler	2 %	Filler	5 %
	Bitume 10/20	5,50 %	Bitume modifié	7,1 %
Module de richesse	3,59		4,13	
% de passants à :				
0,08 mm	7,7		9,1	
0,5 mm	20,9		22	
2 mm	38		45	
4 mm	49,4		70	
6,3 mm	63,3		95	

(*) Alluvions du Rhône.

Annexe 3 – Réparations localisées ou généralisées en béton bitumeux

Annexe 3.1. Précautions relatives à la réalisation d'une chape en feuille sur reprofilage/support de chape en micro-béton bitumeux

• 1. *Problématique générale posée par la réalisation d'une chape d'étanchéité sur des supports en béton hydraulique présentant un mauvais état de surface*

■ Exemple de situations critiques du fait d'un mauvais état d'un support béton

L'état de surface d'un tablier de pont en béton est dans certains cas nettement plus mauvais que la plaquette étalon P2 définie dans le dossier STER 81 et il est incompatible à la mise en œuvre normale d'une chape d'étanchéité.

Ceci se rencontre par exemple :

- sur des ouvrages très anciens qui n'avaient pas de chape d'étanchéité ;
- sur des ouvrages dont le tablier a été particulièrement affecté par l'opération d'enlèvement par rabotage de l'ancien complexe étanchéité/couche de roulement ;
- sur des ouvrages où le support de la chape est un ancien renformis en béton qu'on ne peut (ou ne veut) enlever et sur lequel l'opération de rabotage partiel de l'ancien complexe étanchéité/couche de roulement a créé une très forte macrorugosité.

Remarque. Le fascicule 67 titre III du CCTG (§ 9.3.) mentionne le « cas particulier des réfections » pour lequel l'état du support fait l'objet, une fois la couche de la chaussée et d'étanchéité déposée, d'un relevé contradictoire entre maître d'œuvre et entreprise ; ce relevé permet de déterminer la nature et la quantité des travaux à effectuer en se référant à un bordereau de prix le plus exhaustif possible.

■ Choix d'un type de chape d'étanchéité pour un support très mauvais

- une chape asphalte bi-couche ou un complexe MHC seraient les moins mauvais choix, mais entre autres inconvénients, l'irrégularité du support crée des discontinuités fortes et fâcheuses pour la régularité de l'épaisseur des premières couches du complexe et peut perturber leur comportement mécanique ;
- le palliatif est donc de créer un état de surface plan en réalisant un renformis en micro-béton bitumineux (mBB), généralisé à l'ensemble de la surface de l'ouvrage d'une épaisseur de 15 à 40 mm et qui sert de support à l'étanchéité ; il est dénommé généralement **couche de reprofilage/support de chape**.

■ Choix du type de chape sur la couche de reprofilage en micro-béton bitumineux

- les techniques par film mince adhérent au support (FMAS) à base de résine ou celles (bitumineuses) avec bouche-pore résine sont exclues ;
- sur ce reprofilage, divers types de chapes d'étanchéité peuvent être réalisés, mais le cas le plus courant est celui d'une feuille préfabriquée mono-couche (FPM) ou d'une feuille préfabriquée avec protection asphalte (FPA) si l'on dispose d'une épaisseur suffisante ; ces deux types de chapes sont « soudées en plein » sur le support, directement *sans couche d'imprégnation préalable* ; en adhérence totale il ne peut donc y avoir circulation d'eau entre chape et reprofilage/support ;
- une chape asphalte en semi-indépendance est possible ;
- un complexe MHC dans le cas présent, doit être utilisé avec réserve et précaution et si c'est pertinent en regard du contexte de chantier (grande surface, délais réduits) ; cette technique peut poser problème aux extrémités d'ouvrages du fait de la difficulté d'obtenir un très bon compactage de la première couche de mastic du procédé qui peut se cumuler à la compacité toute

relative de la couche de reprofilage ; à noter que l'argument de la **réduction des délais** ne porte plus dans ce contexte que sur **la seule réalisation de la chape** (et ne se cumule plus comme dans les cas courants sur béton avec la réduction des délais liée à une préparation du support plus sommaire que celle nécessitée par les procédés à base de feuille) – or les moyens mécanisés récents de pose de chape FPM (plus de 1000 m² par jour) sont maintenant très compétitifs pour les grands ouvrages.

• 2. Avantages/Inconvénients de la technique d'étanchéité avec couche de reprofilage/support

Même s'il en est fait mention dans les Avis Techniques SETRA, cette technique ne fait l'objet d'aucun descriptif dans le fascicule 67 Titre I du CCTG ou dans le dossier STER 81, et à l'époque de la parution de ces documents elle était considérée comme « peu orthodoxe » ; **elle nécessite en effet des précautions de réalisation puisqu'on éloigne la chape d'étanchéité du support béton qu'elle doit protéger et ceci peut présenter plusieurs types d'inconvénients et d'avantages :**

INCONVÉNIENTS

■ D'ordre mécanique

- le nouveau support de chape est bien sûr plus déformable que le support béton normal (en particulier sous trafic lourd et forte chaleur) et ceci ne doit pas conduire à un dysfonctionnement de la chape d'étanchéité que l'on met dessus où à des instabilités de l'ensemble du complexe étanchéité/couche de roulement ;
- il ne doit pas à l'inverse être trop dur, fragile et fissurable à basse température même si les chapes sont qualifiées pour résister à une certaine fissuration du support ;
- ces critères sont parfaitement pris en compte si la nature et les caractéristiques du micro-béton bitumineux de reprofilage sont adaptées (cf. § 4.2.1. du texte) ;
- **une grande rigueur doit être apportée dans le choix des matériaux et le contrôle de leur mise en œuvre.**

■ Au niveau de la fonctionnalité d'étanchéité

Dans le cas de l'utilisation normale en **adhérence au support béton**, un des intérêts de la chape FPM (ou FPA) est qu'en cas de défaillance locale et d'infiltration d'eau, celle-ci ne peut pas, *a priori*, cheminer entre chape et béton comme par exemple cela se produit pour une chape asphalté (ou en feuille) **en semi-indépendance** ; dans le cas présent d'une pose sur reprofilage/support en micro-béton bitumineux, celui-ci ne peut être considéré comme étanche ; même si des compacités élevées sont recherchées, il existera toujours des zones de compacité plus faibles pour des raisons diverses (car il ne s'agit pas d'un matériau coulé).

En fonction des pentes et de la localisation de l'entrée d'eau éventuelle, l'eau infiltrée peut migrer dans la couche elle-même de reprofilage ou entre celle-ci et le tablier et éventuellement altérer les surfaces de béton concernées et pénétrer dans celui-ci par exemple par des fissures **qui se trouvent à plusieurs mètres** de l'entrée d'eau (fig. 30) ; c'est en particulier un cas de pathologie assez fréquent au droit des joints de chaussée (cf. ci-après § 3.2).

Des précautions de conception décrites ci-après doivent donc être prises. (cf. ci-après § 3).

■ Paramètres divers à considérer

- comme indiqué précédemment le choix de la formulation du micro-béton bitumineux de reprofilage doit conduire à des compacités élevées ($\geq 95\%$), mais ceci correspond cependant à un matériau plus « ouvert » (plus perméable) que le béton du tablier ; de ce fait il peut absorber une certaine quantité d'eau si des intempéries précèdent la mise en place de la chape (FPM ou FPA) ; ceci est de nature à nuire à son adhérence, voire même à favoriser un gonflement ultérieur ;

- dans les cas courants, et si l'on excepte le cas précédent relatif à de fortes précipitations, la technique de FPM (ou FPA) sur reprofilage, réduit le risque de gonflement que l'on peut avoir pour ces chapes dans le cas d'une pose classique sur le béton du tablier [4] ; les remontées d'air et de vapeur d'eau génératrices du gonflement peuvent en effet se décompresser dans la couche de reprofilage.

Remarque. L'épaisseur du reprofilage « consomme » de l'épaisseur totale disponible pour le complexe étanchéité/couche de roulement mais le risque de gonflement étant moindre, si ce problème d'épaisseur totale est critique, on peut à notre avis réduire l'épaisseur de la couche de roulement de 7 cm (classiquement recommandée) à 5 cm à condition que ses caractéristiques intrinsèques correspondent à la classe de trafic.

AVANTAGES

- facilité de rendre un support béton apte à recevoir une chape FPM (ou FPA), rapidement et économiquement. Le reprofilage peut permettre d'éviter, dans une certaine limite, de nombreux ragréages et déflachages locaux, qui sont coûteux, longs à effectuer et demandent (s'ils sont hydrauliques) des délais de séchage ; ce dernier argument prenant de plus en plus de poids actuellement pour les exploitants d'ouvrage ;
- très bon support pour un soudage de la feuille FPM (ou FPA) : uni, propreté, cohésion superficielle, compatibilité chimique ;
- la variabilité possible de l'épaisseur de 15 à 40 mm permet (en fonction du contexte) de retrouver des pentes transversales et d'éliminer des « flaches » (parties en creux), sites potentiels de rétention d'eau toujours à éviter.

• 3. Conception générale

3.1. Nature du risque

Pour réduire les risques évoqués précédemment de cheminement d'eau dans la couche de reprofilage sous la chape, il y a lieu d'apporter une attention particulière au traitement des *points singuliers* ; ceci est d'autant plus important si ces points singuliers se trouvent en point haut des profils de l'ouvrage puisque dans ce cas le « bassin versant » concerné par l'éventuelle entrée d'eau sera plus important.

Sont particulièrement concernés :

- le point haut du profil en travers,
- les joints de dilatation de l'ouvrage particulièrement s'ils sont en point haut du profil en long,
- les traversées ; par exemple gargouilles d'évacuation des eaux (même si par fonction, elles sont implantés en point bas des profils),
- sur des anciens aménagements et structures proéminents divers : regards d'accès (puits de minage).

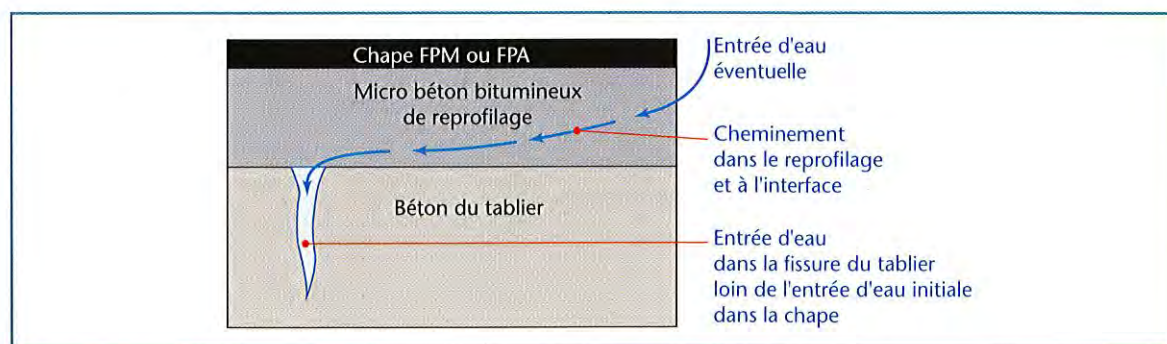


Figure 30 – Illustration d'un cheminement d'eau possible dans la couche de reprofilage/support lors d'une défaillance locale de la chape d'étanchéité

3.2. Dispositions particulières à prendre au niveau du projet

■ Renforcement d'étanchéité aux points hauts du profil en travers

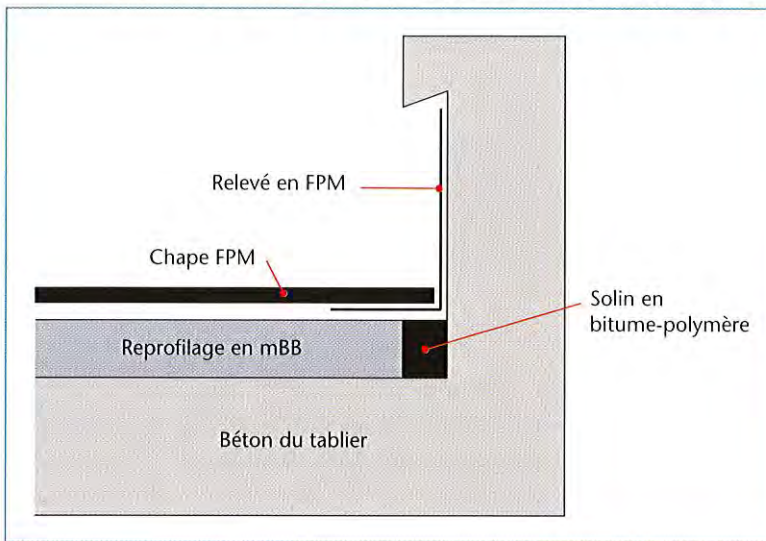


Figure 31a – Renfort d'étanchéité au point haut du profil en travers

– l'about de la couche de micro-béton bitumineux (mBB) est impossible à compacter et reste localement « ouvert » et perméable ;

– même si le relevé d'étanchéité par feuille est bien réalisé, des entrées d'eau peuvent passer derrière le relevé soit par des fissures ou joints entre éléments de corniches ou par l'extrémité de l'ouvrage (joints de dilatation) et circuler en sens longitudinal dans l'angle tablier/corniche (ou contre-corniche) ; une fois derrière le relevé, elle peut migrer selon la pente dans le sens du profil travers ;

– pour pallier cette éventualité, il est conseillé de créer un solin longitudinal en liant bitume-polymère : lors de la réalisation du reprofilage on prévoit une réservation longitudinale dans l'angle au moyen d'une pièce de bois ou métal de largeur 3 cm et de l'épaisseur théorique du renformis (25 mm en général). Après enlèvement de ce « coffrage », on coule dans l'espace du bitume-polymère ; celui-ci adhère parfaitement aux supports béton (qui a reçu la couche d'émulsion d'accrochage du renformis) et au reprofilage (fig. 31a).

Note : – le bitume polymère doit être fortement dosé en polymère (> 10 %),

– il est généralement livré en pain (ou en feuilles), fondu sur le site dans un petit fondoir et répandu à « l'arrosoir » ; pour les ponts en pente, la mise en œuvre doit se faire en plusieurs fois pour éviter les coulures et le vidage par gravité de la réservation.

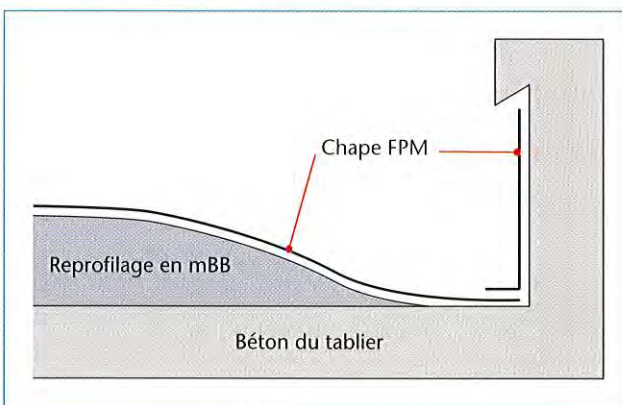


Figure 31b – Autre mode de traitement du point haut du profil en travers

Une solution simplifiée peut consister si le contexte s'y prête (zone sous-trottoir non circulée, bon écoulement des eaux) à arrêter la couche de reprofilage (coupe braise) à 50 cm du relevé et terminer la pose de la feuille FPM en adhérence totale au béton du tablier (fig. 31b).

■ Au niveau des joints de chaussée

– bien respecter les dessins des avis techniques du SETRA (non spécifiques à cette technique sur reprofilage mais valables pour tout type de chape non entièrement adhérente au support béton du tablier) ;

– dans le cas classique où le joint est réalisé après la réalisation du complexe étanchéité/couche de roulement (fig. 32) :

- positionner correctement le drain au niveau du fil d'eau de l'étanchéité (chape FPM) ; positionné trop bas, il va alimenter en eau le mBB de reprofilage,

- réaliser correctement le support de drain en bitume coulé (nous recommandons du bitume-polymère pour éviter toute accumulation de matériau déformable (fluage) au droit de la ligne de joint.

Note. L'absence du massif bitume support de drain ou son mauvais positionnement pouvant être rendu difficile par une hauteur variable sur le profil en travers, de la couche de reprofilage, est une origine fréquente de pathologie ; ceci n'est d'ailleurs pas spécifique à la technique FPM sur reprofilage dont il est question ici, mais à toute technique d'étanchéité qui n'est pas en adhérence parfaite au béton du tablier : MHC, bi-couche asphalte, etc.

Une procédure particulière doit être prévue dans le Manuel de pose de l'entreprise de joint pour que le niveau supérieur de ce massif support de drain soit systématiquement supérieur à celui de la chape d'étanchéité ; ceci a fait l'objet d'une Note de Recommandation du SETRA aux fabricants poseurs de joints de chaussée (23/07/1993).

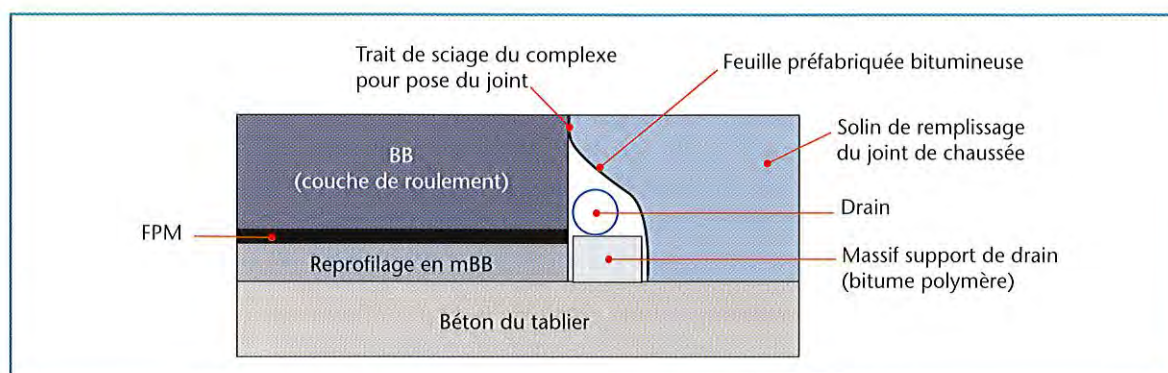


Figure 32 – Détail de raccordement aux joints de chaussée

■ Au niveau des traversées de l'étanchéité

Par exemple sont concernés les dispositifs de descente d'eau (gargouilles), et traversées diverses (candélabres).

Il est difficile de décrire ici les divers cas de figures possibles ; il convient de respecter les principes suivants (fig. 33) :

- pas de surélévation au niveau du fil d'eau de la chape pour ne pas gêner l'écoulement de l'eau, (dans le cas d'ouvrage à très faible pente) ;
- platine horizontale de la gargouille (ou du candélabre) prise en sandwich entre deux feuilles d'étanchéité bitumineuse ;
- de manière générale, au droit de tout arrêt de renformis, protection de la tranche contre toute entrée d'eau par exemple par solin bitumineux coulé ou par feuille préfabriquée.

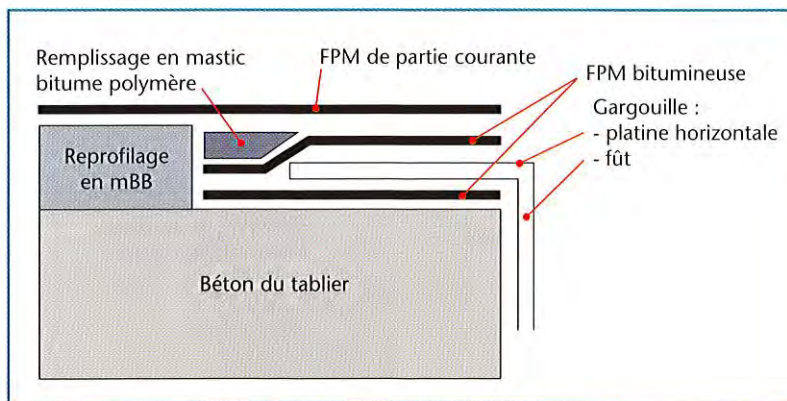


Figure 33 – Dispositions au droit d'une descente d'eau (demi-coupe)

Annexe 3.2. Réparations localisées d'un renformis en béton par un béton bitumineux – Choix du matériau et des modalités de mis en œuvre

Ce cas mentionné dans le texte au § 4.3. concerne les réparations localisées du renformis en béton sur tout ou partie de son épaisseur (soit entre 3 et 15 cm) au moyen de béton bitumineux ; techniquement cette juxtaposition sur l'ouvrage de matériaux (cf. fig. 34a et 34b) respectivement béton hydraulique et bitumineux, **n'est pas conseillée** et doit rester exceptionnelle mais cette technique est quelquefois utilisée pour des surfaces importantes (si les délais sont très réduits).

Les éléments ci-après peuvent être également utilisés dans le cas de la réfection complète en épaisseur et surface du renformis ancien en béton après son enlèvement complet (cas rare).

• 1. Choix des matériaux

Sur ouvrages d'art, l'impossibilité de vibrer les bétons bitumineux conduit à une énergie de compactage beaucoup plus faible qu'en section courante hors ouvrage, il conviendra **donc d'éviter la mise en œuvre d'épaisseurs importantes (au-delà de 6 à 7 cm), en une seule couche**. Ceci conduirait inévitablement à avoir un gradient de compacité important (compacité variant avec la profondeur, et minimale en fond de couche) pouvant induire à terme à une déformation sous l'effet de trafic (phénomène de post-compactage).

Par exemple, dès lors que les profondeurs de purge dépasseront 12 cm, la mise en œuvre devra s'effectuer en deux couches avec interposition d'une couche d'accrochage.

Cette considération exclut par conséquent l'utilisation des graves bitumes GB 0/20 et réduit celle des GB 0/14 à l'épaisseur théorique minimale de 7 cm et maximale de 15 cm.

■ Caractéristiques

- Les enrobés doivent être conformes aux spécifications des normes de produits.
- Pour les **forts trafics**, on optera pour **les classes de meilleures performances mécaniques** (classe 3 au sens de la norme)

■ Incidence de la mise en œuvre « à compactage réduit » sur la formulation des enrobés

Les modalités de compactage sur ouvrage d'art (sans vibration) ne permettent pas de viser les compacités optimales préconisées par les normes produits, par conséquent les formules d'enrobés à privilégier seront dans la mesure du possible étudiées en recherchant un compromis entre maniabilité et résistance à l'orniérage (enrobé ayant une bonne maniabilité qui facilitera sa mise en œuvre mais également ayant une résistance à l'orniérage satisfaisante).

En l'absence de planche de référence compte tenu des faibles surfaces concernées, les conditions de mise en œuvre sont à optimiser afin d'obtenir un pourcentage de vide conforme à celui prévu par la norme produit (cf. tableau ci-dessous) et dans la mesure du possible dans le bas des intervalles ci-dessous :

Type d'enrobé	Norme produit de référence	% de vide Intervalle de spécification sur chantier
BBME 0/10 *	NF P98-132	7 à 12 %
BBSG 0/10 et 0/14 *	NF P98-130	4 à 8 %
GB 0/14 *	NF P98-138	≤ 9 %

* Voir glossaire en annexe 8.

À titre d'indication, parmi les facteurs qui influencent la maniabilité d'un mélange on peut citer :

- l'origine pétrographique (caractère « frottant » ou « maniable » des matériaux) ;
- la forme et l'angularité des granulats ;
- la proportion en mastic dans le mélange (passant à 2 mm, teneur en fines, teneur en bitume).

Pour des constituants donnés (nature des granulats et grade de bitume), l'accroissement de la maniabilité de la formule s'accompagne d'une diminution de la résistance à l'orniérage. Pour lutter contre cet effet, il peut être envisagé de modifier la formule en utilisant un bitume plus performant tel qu'un bitume modifié (généralement par des polymères) ou un bitume spécial de moindre susceptibilité thermique. Les bitumes purs de grade dur (20/30 ou 10/20) ne sont pas recommandés sur les ouvrages de grande portée et grandes déformations car les enrobés constitués par ce type de bitume, rigides sont exposés à la fissuration à basses températures.

L'emploi de bitume modifié peut être privilégié chaque fois que les circonstances locales le permettront (quantité, présence d'une centrale avec stockage de bitume modifié).

Dans tous les cas, les enrobés utilisés devront correspondre à des formules parfaitement connues et éprouvées.

• 2. Mise en œuvre

2.1. Préparation générale

Généralement les purges, technique couramment utilisée en chaussée, sont effectuées à bords francs (fig. 34a).

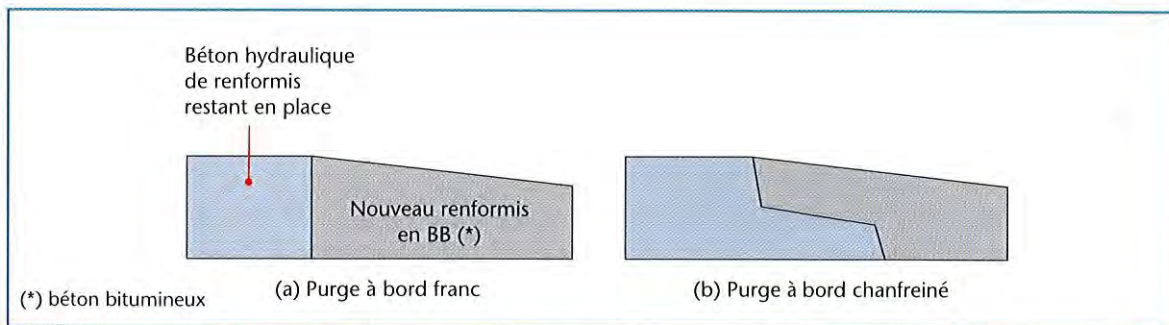


Figure 34 – Raccordements du renformis ancien en béton et de la réparation en béton bitumineux

Dans le cas présent, au droit de la jonction, on est en présence de deux matériaux de rigidité différente ; en ce qui concerne l'enrobé et pour réduire les possibles déformations, il faut rechercher des matériaux intrinsèquement résistants à la déformation, mais également réduire son épaisseur d'où l'intérêt d'avoir des bords de purge chanfreinés ; la pertinence sera évaluée en fonction des épaisseurs concernées et du type d'enrobé retenu, du nombre de couches et de la faisabilité pratique du chanfrein (fig. 34b).

2.2. Préparation de surface

- élimination complète des matériaux de fraisage et de purge, et de toute partie sans cohésion ;
- soufflage soigné à l'air comprimé ; éviter les nettoyages à l'eau sous-pression si en fonction de la conformation de la purge on n'est pas sûr de la possibilité d'une évacuation rapide et complète de l'eau souillée (décantation possible des fines).

Une couche d'accrochage sera réalisée sur le fond de fouille et les bords. La nature de cette couche d'accrochage doit être adaptée à l'usage sur tablier ou renformis béton et par conséquent elle doit être **exempte d'ions chlorures**. Les produits utilisés peuvent être :

- émulsion de bitume à base d'acide phosphorique (H_3PO_4),
- vernis d'accrochage (bitume ou bitume modifié dans un solvant).

Les émulsions sont épandues au moyen d'une répandeuse si la surface le justifie sinon avec une lance (attention dans ce dernier cas à la régularité du dosage).

Les vernis d'accrochage sont mis en œuvre au rouleau (ou au pistolet si la surface le justifie) (excédent à éviter).

L'émulsion de bitume (ou de bitume modifié au polymère) déposée en plus forte épaisseur que le vernis est généralement mieux adaptée à des supports irréguliers et à la mise en place d'un béton bitumineux.

2.3. Mise en œuvre des enrobés au finisseur

On recherche l'adéquation entre, d'une part l'épaisseur à mettre en œuvre, la largeur de la fouille, la nature de l'enrobé et d'autre part les moyens de mise en œuvre, finisseur et compacteur.

Les enrobés sont *généralement répandus au moyen d'un finisseur* adapté aux largeurs de mise en œuvre (Exemple : « mini-finisher » permettant la mise en œuvre sur une largeur d'environ 1 mètre).

■ **Hors ouvrages**, ils seraient en conditions normales compactés à l'aide de matériels conformes à la classification de la norme NF P 98-736 tels que les cylindres vibrants tandem ; à titre d'exemple, on pourrait utiliser au minimum :

L = largeur de la fouille P = profondeur

$L \leq 1 \text{ m}$ et $P \leq 6 \text{ cm}$	Plaque vibrante
$1 < L < 1.7 \text{ m}$	Cylindre vibrant tandem de classe PV3 selon NF P98-736
$L \geq 1.7 \text{ m}$	Cylindre vibrant tandem de classe VT1 ou VT2 selon NF P98-736

■ **Sur ouvrage d'art**, les cylindres vibrants tandem ne peuvent être utilisés qu'en lisse, sans vibration, sauf à démontrer que la fréquence de vibration du compacteur n'est pas en phase avec celle de l'ouvrage ; on s'attachera donc à optimiser la compacité de l'enrobé, en utilisant le *matériel le plus lourd possible* ; pour être à niveau du bord de la purge, on remplit celle-ci avec un *excédent d'enrobé correspondant environ à 20 % de l'épaisseur finie* (correspondant au foisonnement). Lorsque la largeur de purge le permet, il est conseillé d'utiliser un compacteur à pneu de type P1 (3 tonnes/roue) ou P2 (5 tonnes/roue) (sauf dans le cas d'enrobé au bitume modifié – problème de collage).

Sous réserve de l'accord du maître d'œuvre, la table vibrante peut être utilisée à son minimum de vibration.

2.4. Cas de mise en œuvre manuelle des enrobés

Ceci devrait rester exceptionnel, puisque dans le contexte de ce chapitre, on a indiqué que les surfaces de faibles dimensions relevaient des techniques par béton hydraulique.

La mise en œuvre manuelle des enrobés peut-être tolérée lorsque :

- la surface totale de purge est trop faible pour justifier l'amenée d'un finisseur (quelques dizaines de mètres carrés)
- les largeurs de purge (moins de 1 m) ne permettent pas la mise en œuvre par un finisseur

Dans ce cas, les enrobés peuvent être déversés en cordon et en excédent directement dans la purge avant d'être répartis au râteau et compactés.

Avant de choisir la mise en œuvre manuelle, il est nécessaire de vérifier que les conditions climatiques et de chantier (délais de route, d'attente, effectif en personnels) permettront de respecter la température minimale requise pour un compactage optimal.

Annexe 3.3. Choix du complexe étanchéité/couche de roulement

Pour le détail, se référer aux avis techniques du SETRA

Remarque. Ces complexes couramment utilisés ne sont donnés qu'à titre d'exemples et ne sont pas exhaustifs.

Épaisseur totale disponible	Reconstruction en béton (*), généralisée ou réparations localisées en forte épaisseur	Rabotage superficiel généralisé ou localisé et réparations locales en béton de faible épaisseur (*)
	Durée de séchage \geq 15 jours	Durée de séchage 4 à 8 jours (**)
\leq 7 à 8 cm	a) chape FPM + 7 cm BB 0/10 ou BB 0/14 b) chape FPA (30 mm) + 5 cm BB 0/10 (****) c) complexe MHC (6 à 7 cm en fonction du trafic)	– reprofilage général en micro-béton bitumineux épaisseur nominale 20 mm (plage 15 à 40 mm) – chape FPM – BB 0/10 : 5 cm (***)
$>$ 7 à 8 cm	Cas a) et b) avec couche de roulement en 2 couches : <ul style="list-style-type: none"> • 5 à 7 cm de BB 0/10 • 2 à 3 cm de BBTM 	– Idem précédemment mais avec en couche de roulement : <ul style="list-style-type: none"> • BB 0/10 (ou 0/14) \geq 7 cm + BBTM 3 cm

(*) Béton et autres produits spéciaux « blancs » (mortier et micro-béton LHM).

(**) Fonction de la nature et de l'épaisseur des produits hydrauliques spéciaux utilisés.

(***) – à noter que le minimum requis dans les A.T. SETRA est de 7 cm pour réduire les risques de gonflement de la chape ; dans le cas présent d'un support de chape en micro-béton bitumineux, le risque est moindre et une épaisseur de 5 cm de BB est acceptable ; leur nature (éventuellement liant modifié) sera à adapter au trafic,

– à noter cependant que ces faibles épaisseurs, réduisent la souplesse d'entretien ultérieur de la couche de roulement par rabotage superficiel (risque de déchirer la chape).

(****) Ou épaisseur supérieure en fonction du trafic.

Annexe 4 – Les contrôles

L'objet n'est pas de décrire ici dans le détail les **contrôles classiques pratiqués lors de travaux d'enrobés, de béton ou d'étanchéité et qui sont traités dans d'autres documents** ; on mentionne ci-après seulement les points critiques, les points d'arrêt et les essais et caractéristiques spécifiques à ce contexte de réhabilitation de renformis.

Remarque. À titre d'exemple, seul est traité le cas courant du rabotage partiel du renformis béton suivi de la réalisation d'une couche de reprofilage/support de chape en micro-béton bitumineux.

	Points critiques	Points d'arrêt	Points particuliers à examiner
Examen du renformis béton en place – après rabotage du complexe étanchéité/couche de roulement – après purges et réparations localisées – relevé topographique – après nettoyage final	X	X X X	Cohésion interne et superficielle du renformis en place ; adhérence au tablier (sondage à la massette, « impact echo ») Si des réparations localisées ont été effectuées en béton hydraulique : délai de séchage, présence de produits de cure Optimisation des profils Propreté, absence d'humidité
Couche d'accrochage du reprofilage en mBB (**)	X		Nature, continuité, respect des dosages mini et maxi
Réalisation du reprofilage en mBB (**) et traitement des points singuliers	X		Épaisseurs mini et maxi et forme de pente respectées
Etat de la surface du reprofilage avant pose de la chape FPM (ou FPA) (**) et relevé topo (éventuel)		X	Propreté, état de surface (aspect fermé, planéité et profil général) et absence d'humidité ; éventuellement carottage pour mesure de compacité
Pose de la FPM (ou FPA) (**)	X		Pas de couche d'accrochage, modalités de soudures
Réception de la FPM (ou FPA)		X	Repérage visuel manuel ou par caméra infra-rouge de zones pas ou mal collées Essais d'adhérence (*)
Mise en œuvre de la (des) couche(s) de béton bitumineux de chaussée	X		Contrôles classiques

(*) Lors des essais d'adhérence lorsque le soudage a été bien réalisé, le mode de rupture est souvent de type cohésif dans la partie superficielle du support en mBB ; les valeurs obtenues sont proches ou légèrement supérieures à 0,4 MPa (valeur spécifiée dans le cas normal sur un support béton) – ces essais restent d'intérêt par l'analyse du mode de rupture et complètent l'examen visuel et le sondage manuel afin de juger du bon soudage de la feuille au support.

(**) Renformis mBB : renformis (reprofilage) en micro-béton bitumineux

FPM : feuille préfabriquée monocouche

FPA : feuille préfabriquée asphalte.

Annexe 5 – Bordereau des prix-type

Remarques préalables

- En dépit des investigations préalables au projet, il est impossible en matière de réhabilitation, de connaître avec précision l'ensemble des paramètres qui vont conditionner la réalisation des travaux, par exemple en ce qui concerne l'état du renformis ancien et les difficultés de son enlèvement ; cela se traduit au niveau du projet par des incertitudes en terme de nature de travaux et de produits et en terme de quantités. Il est donc conseillé de prévoir une « bibliothèque de prix » assez diversifiée, éventuellement en subdivisant un prix donné en fonction de la quantité mise en œuvre.
- Ce bordereau des prix n'est pas exhaustif et a pour but d'apporter une aide pour l'établissement des prix spécifiques à l'opération de réhabilitation de renformis ; ainsi les prix de base (installation de chantier, signalisation, ...) ne sont pas mentionnés ; par ailleurs le contexte particulier de l'ouvrage peut nécessiter des prix particuliers, par exemple protections spéciales de relevés d'étanchéité, sujétions liées au maintien en place de joints de dilatation etc.

CAS 1 – Réhabilitation de renformis béton par béton hydraulique

n°	Libellé	Unité	Prix unitaire
1	Enlèvement du complexe étanchéité/couche de roulement par fraisage	cm d'épaisseur et par m ²	
1 bis	Enlèvement du complexe étanchéité/couche de roulement à la pelle et au chargeur	m ²	
2	Fraisage superficiel ou total du renformis en béton	cm d'épaisseur et m ²	
3	Relevé topographique avant et/ou après fraisage/et ou après reprofilage	forfait	
4	Reconnaissance à la massette, ou autre moyen, des zones de renformis décollées	forfait	
5	Purge à la bêche pneumatique des zones dégradées (épaisseur variable de 3 à 15 cm)	m ²	
6	Ragréages ou déflachages locaux de petite dimension (surface et profondeur) par mortiers et béton hydraulique à liant modifié (marque NF ou équivalent)	l	
7	Préparation de support (béton du tablier) par piquage, et soufflage préalablement aux travaux des prix (8 à 11)	m ²	
7 bis	Préparation du support béton du tablier par piquage, décapage par projection d'abrasif ou eau THP ou grenailage préalablement aux prix 8 à 11	m ²	
8	Reconstitution localisée du renformis dans toute l'épaisseur par béton hydraulique, y compris cure chimique ou humide	m ³	
9	Reconstitution généralisée sur toute l'épaisseur et toute la surface de l'ancien renformis par béton hydraulique	m ³	
10	Reconstitution localisée du renformis dans toute ou partie de son épaisseur par mortier ou microbéton LHM	l	

11	Reconstitution localisée du renformis dans toute ou partie de son épaisseur par mortier de résine époxydique	l	
12	Chape d'étanchéité en feuille préfabriquée monocouche y compris préparation de surface (enlèvement du produit de cure chimique à l'eau THP ou par greillage), relevés	m ²	
12 bis	Idem prix n° 12 avec chape FPA	m ²	
12 ter	Idem prix n° 12 avec chape asphalte bi-couche	m ²	
13	Couche de roulement en béton bitumineux 0/10 ou 0/14	tonne	

CAS 2 - Réhabilitation du renformis béton par un reprofilage général en béton bitumineux

n°	Libellé	Unité	Prix unitaire
1 à 7	Idem cas 1		
8	Déflachage superficiel localisé du renformis par micro béton bitumineux y compris couche d'accrochage à l'émulsion de bitume (sans chlore)	tonne	
9	Reprofilage général en micro-béton bitumineux sur le béton du tablier ou sur le renformis béton en place ; y compris préparation de surface par soufflage, nettoyage et couche d'accrochage à l'émulsion de bitume (sans chlore) avec forme de pente éventuelle définie au CCTP	tonne	
10	Solin en bitume-polymère coulé 3 x 3 cm aux abouts de la couche de reprofilage et autres points singuliers	ml	
11	Chape d'étanchéité en feuille préfabriquée mono-couche (FPM) (avec AT SETRA ou équivalent) y compris relevés et sujétions liés aux raccordements aux gargouilles	m ²	
11 bis	Idem prix n° 11 avec chape FPA	m ²	
11 ter	Idem prix n° 11 avec chape asphalte bi-couche en semi-indépendance	m ²	
12	Couche de roulement en béton bitumineux 0/10	m ³	

Annexe 6 – Bibliographie et documents

- [1] SETRA – STER 81 – (juillet 1981) Surfaçage, étanchéité et couches de roulement des tabliers
- [2] SETRA – STER 81 – Mise à jour n° 1 (avril 1990) Complexes mis en œuvre par moyens haute cadence
- [3] SETRA – STER 81 – Mise à jour n° 2 (mai 2001) Réfection des étanchéités et des couches de roulement des tabliers d'ouvrages d'art – réparations localisées
- [4] Bulletin de liaison des laboratoires des Ponts et Chaussées – 204 – septembre-octobre 2002 – pp 95-99 – Chapes d'étanchéité de ponts – Point sur les problèmes de gonflement des chapes d'étanchéité et les procédés bouche-pores
- [5] Guide LCPC SETRA Choix et application des produits de réparation et de protection de surfaces en béton – 2002
- [6] Cahier des Clauses Techniques Générales – Fascicule n° 65 A
Exécution des Ouvrages de Génie Civil en béton armé ou en béton précontraint (août 2000)
- [7] Enrobés bitumineux - Norme de produits : série NF P 98-130 à 98-141
- [8] Cahier des Clauses Techniques Générales – Fascicule n° 67 – titre 1^{er} – Étanchéité des ponts-routes support en béton de ciment (avril 1985)
- [9] Revue Générale des Routes et Aéroports – n° 798 (septembre 2001)
Revêtement de béton âgé de quelques jours – CIMBETON/SPECBEA/SNBPE
- [10] Guide technique LCPC – Viaducs à travées indépendantes à poutres précontraintes (VIPP) (octobre 2001)

Annexe 7 – Autres photographies

Annexe photographique 7.1 État initial et démolition des chaussées, chape et renformis béton



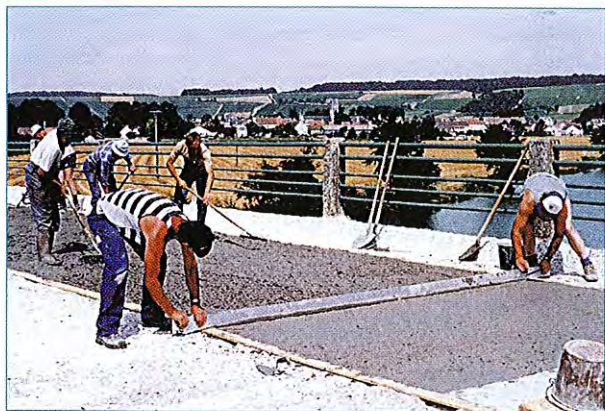
*Essai d'hydrodémolition du renformis ;
il s'ensuit une forte dégradation superficielle du tablier*

*Démolition de renformis béton au BRH
(à proscrire)*



Impacts ponctuels du BRH sur le tablier

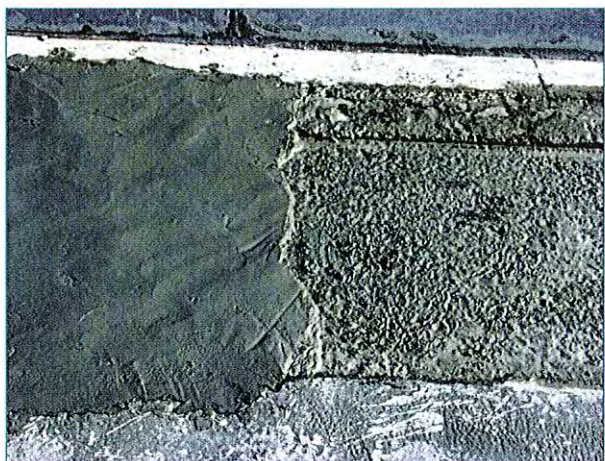
Annexe photographique 7.2 Réalisation de renformis en béton hydraulique



Mise en place du béton à la règle



Forme de pente transversale



*Mise en place du mortier LHM
en faible épaisseur en rive, en damiers*



Aspect global

*Fissure dans joint sec
et aspect grenu au droit du raccord*

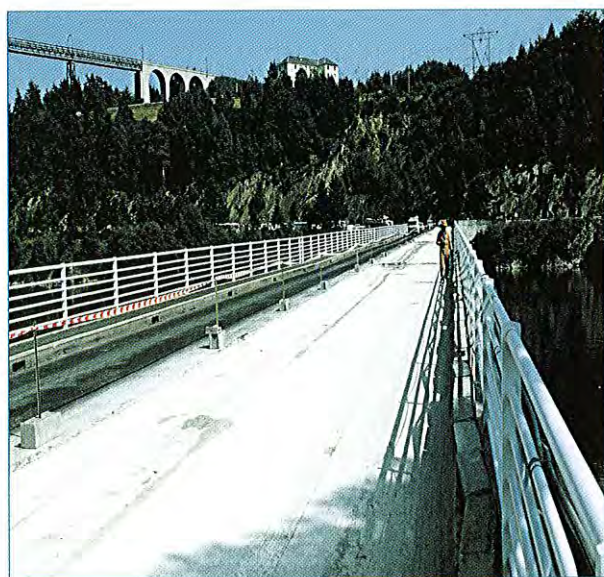


*Renformis réalisé (sans joint sec)
sur une voie*

Aspect d'un joint sec



*Préparation de la réalisation
d'une deuxième bande longitudinale
de renformis (la première est recouverte
d'un géotextile
pour sa cure par humidification)*



*Aspect du tablier après fraisage
de l'ancien renformis*

*Le joint de chaussée reste en place ce qui induit
des sujétions pour le projet (hauteur imposée,
traitement étanche d'un point singulier)*



Annexe photographique 7.3 Reprofilage en micro-béton bitumineux



*Épandage de couche d'accrochage
sur le support béton
(attention au peignage)*

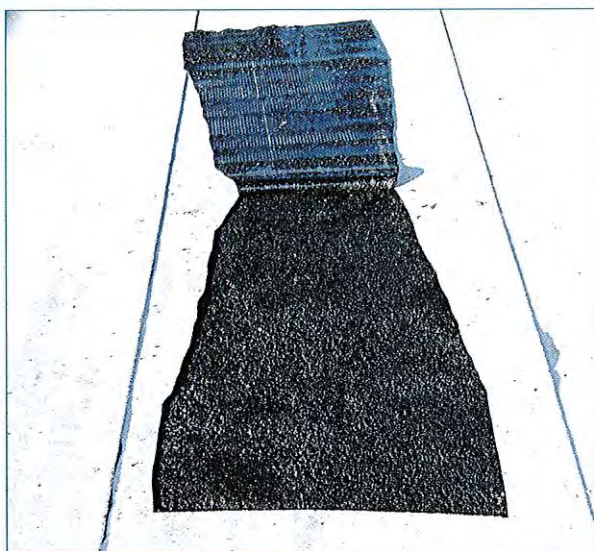
*Mise en œuvre au finisseur en pleine largeur
de la couche de reprofilage*



*Mise en œuvre au finisseur demi-chaussée
de la couche de reprofilage*



*Compactage sous bordure
à la plaque vibrante*



*Défaut de collage de chape FPM sur renformis
en microbéton bitumineux*



*Préparation de surface soignée
(ici décapage par projection d'abrasif)
des zones d'arrêts d'étanchéité
et de couche de reprofilage
en micro béton bitumineux*



*Fondoir à bitume polymère
pour traitements localisés
(par exemple arrêts de couche
de reprofilage / support de chape)*



*Liant bitume-polymère
pour traitements localisés
(livré en feuilles qui seront fondues)*

Annexe 8 – Glossaire

BMP :	Bitume modifié par des polymères
CND :	Contrôle non destructif
FMAS :	Chape par film mince adhérent au support
FPA :	Chape en feuille préfabriquée avec couche d'asphalte
FPM :	Chape préfabriquée monocouche
LHM :	Liant hydraulique modifié
Micro BB :	Micro-béton bitumineux
VIPP :	Viaduc à travée indépendante à poutres préfabriquées précontraintes
GB :	Grave bitume
BBME :	Béton bitumineux moyenne épaisseur
BBSG :	Béton bitumineux semi-grenu

Document publié par le LCPC sous le n° C1502448

Conception et réalisation : DESK

Dessins : LCPC-DISTC, Philippe Caquelard

Impression : Jouve

Dépôt Légal : 3^e trimestre 2006



Certains ouvrages en béton précontraint ont nécessité la réalisation d'un renformis en béton avant celle du complexe étanchéité / couche de roulement pour corriger des défauts géométriques importants du tablier ; dans certains cas le renformis se dégrade localement et entraîne l'altération jusqu'à la ruine de la chape d'étanchéité et de la couche de roulement.

Le projet de réhabilitation est rendu délicat par la méconnaissance de l'état réel du renformis, de la facilité ou non de son enlèvement et des plages d'épaisseur.

Ce guide donne des recommandations pour les investigations préalables, les méthodes de démolition totale ou partielle, les complexes étanchéité / couche de roulement les mieux adaptés. Il traite le cas du procédé devenu courant à ce jour, des chapes d'étanchéité réalisées sur une couche de reprofilage / support en microbéton bitumineux, qui nécessite des précautions.

Some prestressed concrete bridges required laying a concrete underform under the waterproofing system in order to rectify significant geometry defects at deck level. In a number of cases, the concrete underform deteriorates locally resulting in changes in the waterproofing layer and the surface course up to their complete destruction.

The rehabilitation project is made delicate due to a poor knowledge of the actual condition of the concrete underform, its removal condition - whether easy or not - and of the thickness ranges.

This technical guide gives recommendations for preliminary investigations and methods of partial or complete demolition, and for selecting the most appropriate waterproofing and surfacing complex. It analyses the process of laying waterproofing system on a bituminous concrete underform layer, which implies taking several precautionary measures.