

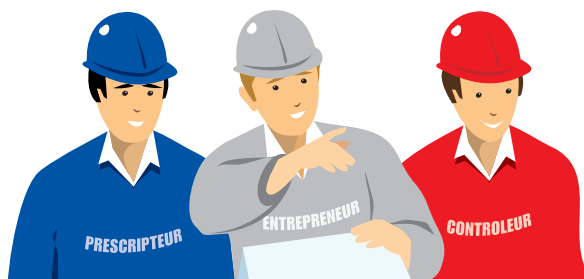
Entretien et réparation des équipements d'ouvrages

2

Etanchéités



Le présent guide s'adresse **aux entrepreneurs** qui ont à réaliser l'entretien et la réparation des étanchéités. Il concerne aussi les deux autres acteurs de l'opération que sont le **prescripteur** et le **contrôleur** (maître d'œuvre ou son représentant).



Les trois intervenants, le maître-d'œuvre (le prescripteur), l'entrepreneur et le contrôleur.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	5
1 - DÉFINITIONS	9
1.1- Les étanchéités des ponts routes	10
1.1.1 – Rôle et fonction	10
1.1.2 – Les diverses solutions techniques en matière d'étanchéité	10
1.1.3 – La procédure d'évaluation par Avis Technique	12
1.1.4 – Contexte particulier de la responsabilité contractuelle ou décennale	13
1.1.5 – Cas particuliers des étanchéités de ponts rails	14
1.2 – Les étanchéités des tunnels et autres ouvrages souterrains similaires	15
1.2.1 – Familles et localisation	15
1.2.2 – Description des procédés	17
1.2.3 – La procédure d'évaluation par Avis Technique	22
1.2.4 – Contexte particulier de la responsabilité contractuelle ou décennale	22
1.3 – Les étanchéités de bassins par DEG	23
1.3.1 – Les techniques concernées	23
1.3.2 – Les types d'ouvrages en terre comportant un DEG	23
1.3.3 – Composition d'un DEG	23
1.3.4 – Dispositions types	26
1.3.5 – Les procédures d'évaluation	27
2 - DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE	29
2.1 – Etanchéité des ponts routes et ponts rails	30
2.2 – Etanchéité des tunnels et autres ouvrages souterrains similaires	31
2.3 – Etanchéité de bassins par DEG	32

3 - AIDE AU DIAGNOSTIC SUR L'ÉTAT ET L'EFFICACITÉ DES CHAPES	33
3.1 - Cas des étanchéités des ponts routes	34
3.1.1 - Introduction	34
3.1.2 - Le diagnostic visuel sur la couche de roulement	34
3.1.3 - Le diagnostic visuel direct sur l'étanchéité	40
3.1.4 - Les moyens d'investigations	40
3.1.5 - Les recueils d'informations	42
3.1.6 - Cas particulier des étanchéités des ponts rails	44
3.2 - Cas des étanchéités des tunnels et autres ouvrages souterrains similaires	45
3.3 - Cas des étanchéités des bassins à base de DEG	46
3.3.1 - Principes généraux et objectifs de l'entretien	46
3.3.2 - Les visites de contrôle	46
3.3.3 - Evaluation de l'étanchéité	47
3.3.4 - Les familles de désordres ou de pathologies	49
3.3.5 - Diagnostic suite à un cas d'épisode de pollution accidentelle	51
4 - LES OPÉRATIONS DE RÉPARATION. CHOIX DES PRODUITS ET DES MATERIAUX	53
4.1 - Cas des étanchéités des ponts routes	54
4.1.1 - Généralités sur les opérations d'entretien (courant ou spécialisé)	54
4.1.2 - La réparation d'une chape d'étanchéité	54
4.1.3 - Cas particulier des étanchéités des ponts rails	57
4.2 - Cas des étanchéités des tunnels et autres ouvrages souterrains similaires	58
4.3 - Cas des étanchéités de bassins à base de DEG	59
5 - ESSAIS ET CONTRÔLES	61
5.0 - Généralités	62
5.1 - Cas des étanchéités des ponts routes et des ponts rails	63
5.1.1 - L'état de surface	63
5.1.2 - Contrôle des matériaux	65
5.1.3 - Contrôle de réception des travaux effectués	65
5.2 - Cas des étanchéités des tunnels et autres ouvrages souterrains similaires	66
5.3 - Cas des étanchéités de bassins à base de DEG	67
6 - HYGIÈNE ET SÉCURITÉ	69
6.0 - Généralités	70

6.1 – Cas des étanchéités des ponts routes et des ponts rails	71
6.1.1 – Protection et gestion du chantier	71
6.1.2 – Utilisation des produits et conditions de chantier	72
6.2 – Cas des étanchéités des tunnels et autres ouvrages souterrains similaires	73
6.3 – Cas des étanchéités de bassins à base de DEG	74
7 – GESTION DES DÉCHETS	75
7.0 - Généralités	76
7.1 – Cas des étanchéités des ponts routes	77
7.2 – Cas des étanchéités des tunnels et autres ouvrages souterrains similaires	78
7.3 - Cas des étanchéités de bassins à base de DEG	79
7.3.1 – Gestion du déchet décantat	79
7.3.2 – Gestion des déchets de composants du DEG	79
8 – PAQ	81
8.0 - Généralités	82
8.1 – Cas des étanchéités des ponts routes (et des ponts rails)	83
8.2 – Cas des étanchéités des tunnels et autres ouvrages souterrains similaires	85
8.3 – Cas des étanchéités de bassins à base de DEG	86
TABLE DES ILLUSTRATIONS	87
INDEX	88
ANNEXE 1 : SOMMAIRE DU GUIDE STER 81, MISE À JOUR 2	90
ANNEXE 2 : LEXIQUE	91
ANNEXE 3 : TABLEAU DES ESSAIS DE CERTIFICATION ASQUAL	92

Depuis toujours, l'homme s'est préoccupé de la protection de ses constructions contre l'action des eaux, non seulement pour éviter la pénétration de l'eau dans ses locaux ou dans ses réserves de nourritures, mais aussi pour protéger la structure contre les détériorations qui pouvaient être provoquées par l'eau.

Les solutions qu'il a alors mises en œuvre ont été adaptées à la nature de la construction qu'il souhaitait protéger et, partant, les techniques de réparation ne sont valables que dans un contexte donné et pratiquement pas extrapolables à un autre.

> Pour les besoins du présent guide, nous proposons de distinguer trois objectifs principaux d'étanchéité en fonction du type de la construction :

- celle destinée aux surfaces horizontales comme les ponts et viaducs,
- celle qui empêche les venues d'eaux dans les ouvrages enterrés comme les tunnels et les passages souterrains,
- enfin les étanchéités des bassins.

La présentation du présent document tient compte de ces types de construction pour lesquels les différentes techniques d'étanchéités sont distinctes et soumises à des réglementations ou des normes spécifiques. Comme il n'était pas possible de les traiter de façon identique, chaque paragraphe a été découpé pour aborder, de façon indépendante, l'étanchéité de chacune de ces constructions. C'est ainsi que l'on distinguera :

a) Cas des toitures et des surfaces sub-horizontales

Il s'agit principalement des bâtiments et des ponts. Pour éviter l'entrée de l'eau dans les constructions, il a été conçu des couvertures telles que les toitures, dont la pente suffisait à assurer l'évacuation de l'eau. Dans le cas de constructions à couvertures quasi horizontales comme les terrasses de bâtiment ou les ponts, on a recherché des solutions «étanches». Pour les étanchéités de ce type de construction, il convient de bien distinguer ce qui est du domaine du bâtiment de celui du génie civil (comme cela est fait dans le domaine normatif tant français qu'europpéen). En effet, les techniques ne sont pas les mêmes du fait du contexte : sollicitations, protection de surface (enrobé sur les ponts, gravillons ou dallage sur les bâtiments), techniques de mise en œuvre, etc.

Par ailleurs, les aspects juridiques sont très différents. Dans le bâtiment, la responsabilité décennale est omniprésente et sous-tend toutes les orientations alors que, sur les ponts, elle est moins prégnante. En effet, la loi (articles 1792 et 2270 du Code Civil) suppose juridiquement que l'ouvrage soit rendu impropre à sa destination. Ce qui explique que, en cas de déféctuosité, les juges (sur la base de l'avis d'experts) vont rechercher si le désordre d'étanchéité permet ou non l'usage normal du local protégé par cette étanchéité. Dans le cas des ponts (viaducs et ouvrages similaires) la distinction est plus subtile et l'ouvrage ne sera rendu impropre à son usage qu'en cas de corrosion avancée (des câbles de précontraintes, par exemple) pouvant conduire à la rupture de l'ouvrage.

Seul le domaine des ponts, viaducs et ouvrages de génie civil similaires est concerné par le présent document. En effet, les réparations des étanchéités de bâtiment ne sont pas abordées ici, le groupe en charge du pilotage de l'élaboration de ces guides ayant considéré que les textes existants, notamment le DTU 43.5 (NF P 84-208-1), donnaient tous les éléments pour la réalisation de ces travaux. Quant aux petits travaux de réparation, ceux-ci paraissaient relever plus de l'entretien courant ou spécialisé ne justifiant pas un document spécifique.

De même, le cas des complexes sur platelage acier de tablier de pont n'est pas traité dans ce qui suit. En effet, pour ces complexes qui doivent assurer à la fois les fonctions de protection contre la corrosion et de support direct du trafic de véhicules, l'étanchéité n'est qu'un aspect de la caractéristique souhaitée, en ce sens qu'elle doit éviter la présence d'eau au contact du support métallique. De ce fait, les techniques sont très spécifiques à ce type de structure pour tenir compte des conditions très particulières de fonctionnement (notamment de tenue à la fatigue par flexion sous charge), les réparations ponctuelles particulièrement délicates à exécuter et, de toute façon, fonction du procédé initial qui fait pratiquement systématiquement l'objet d'une protection industrielle et commerciale. Ces réparations sont donc l'apanage de sociétés spécialisées peu nombreuses qui ont, par ailleurs, intégrées dans leur guide d'entretien les techniques spécifiques de réparation sur leur procédé. Enfin, les ouvrages concernés sont relativement peu nombreux et sont l'objet, quasi systématiquement, d'une étude au cas par cas.

b) Cas des étanchéités des tunnels et autres ouvrages souterrains similaires

Les travaux d'étanchéité des tunnels et autres ouvrages souterrains similaires **«ont pour but d'empêcher la pénétration de l'eau à partir du terrain à l'intérieur de l'ouvrage souterrain»** (F67, titre 3, art 1. Référence § 2.2.1).

«Sont considérés comme travaux d'étanchéité les travaux participant à la réalisation d'une barrière étanche, stable, continue et non contournable par la mise en œuvre de produits d'étanchéité» (F67, titre 3, art 1.3). L'étanchéité peut être de type apparent ou bien recouverte par un revêtement. Si la barrière étanche est constituée par un revêtement en béton, celui-ci peut comporter, au niveau des discontinuités (qui constituent alors des «joints»), des dispositifs ou des produits d'étanchéité qui sont partie intégrante du complexe d'étanchéité et pratiquement systématiquement en continuité de celui-ci. C'est la raison pour laquelle la réparation des joints d'étanchéité n'a pas été traitée dans le guide FAEQ 3 «les joints de dilatation», mais dans le présent document.

Nota : *les traitements d'étanchéité de cuvelage dans le bâtiment relevant du DTU 14.1 (NF P 11-221-1) ne sont pas abordés dans ce guide, car les équipements dans le bâtiment ne sont pas traités dans les guides de la famille Equipements (voir guide FAEQ 1).*

c) Cas des étanchéités des bassins par Dispositifs d'Etanchéité par Géomembranes (DEG)

Seules les techniques d'étanchéité des bassins à eau claire, de décantation ou à liquide polluant (bassin de lagunage ou fosses à lisier) par Dispositif d'Etanchéité par Géomembranes (DEG) telles que définies au § 1.3 ci-dessous sont abordées dans ce guide. Les étanchéités de centres d'enfouissement technique, aire de lixiviation, les canaux et les barrages,... sont hors du domaine d'application de ce document, même si un certain nombre de conseils peuvent utilement être exploités pour ces ouvrages. Les étanchéités des ouvrages par géosynthétiques bentonitiques, d'une part, et des châteaux d'eau en béton armé, d'autre part, sont aussi hors du champ d'application du présent document. Cependant, pour les seconds, on peut faire appel, sous certaines conditions, aux techniques de réparation de béton armé faisant l'objet de l'un des guides FABEM (N°1, N°2 et/ou N°3. Voir référence au § 2.1.11).

L'objectif de l'étanchéité de ces ouvrages est très spécifique puisqu'il vise à :

- assurer l'absence de perte d'eau du bassin vers le milieu naturel,
- protéger la zone sous le bassin d'infiltrations,
- préserver l'environnement d'une contamination (vers les sols et/ou les nappes phréatiques).

Les exigences d'étanchéité ne sont donc pas de même nature que pour les autres types de construction. Dans un cas, on ne veut pas qu'un liquide pénètre et dans l'autre on ne veut pas qu'il sorte. Phénoménologiquement, le problème est identique mais les liquides impliqués et les sollicitations mécaniques ne le sont pas forcément suivant les contextes.

Le niveau d'étanchéité à atteindre est, en général, un étanchement total de l'ouvrage. Toutefois, il est également possible de fixer un niveau de fuites admissibles au regard des contraintes de service et d'environnement, voire de réglementation.

1

Définitions

1.1 Les étanchéités des ponts routes

1.2 Les étanchéités des tunnels et autres ouvrages souterrains similaires

1.3 Les étanchéités de bassins par DEG

1.1.1 RÔLE ET FONCTION

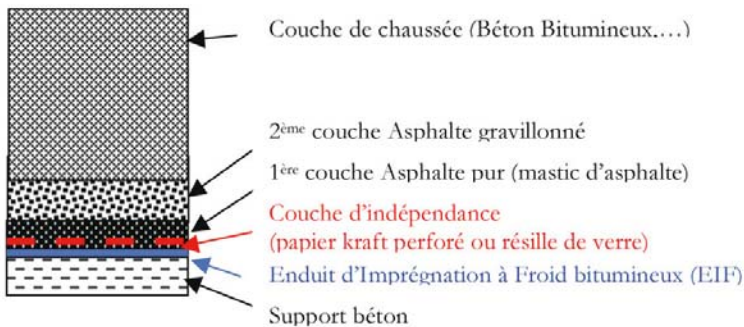
Le rôle de l'étanchéité est d'assurer la protection des éléments constitutifs de la structure, principalement la dalle ou le hourdis (c'est-à-dire les parties horizontales), contre les produits agressifs comme l'eau de ruissellement et des éléments nocifs qu'elle transporte (les sels de déverglaçage, les produits de combustion des véhicules, ...). Le coût de cet équipement n'est pas négligeable, or le risque d'un défaut d'étanchéité annulant l'efficacité de l'équipement n'est pas nul. La chape d'étanchéité est un équipement primordial de la stabilité et de la durabilité de la structure.

1.1.2 LES DIVERSES SOLUTIONS TECHNIQUES EN MATIÈRE D'ÉTANCHÉITÉ

Les schémas et textes suivants sont extraits du guide MEMOAR du SETRA (voir Référence § 2.1.6).

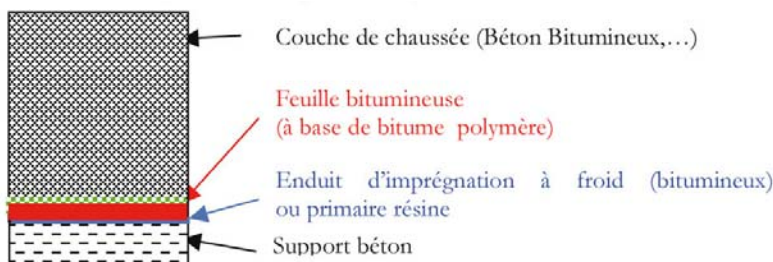
Pour assurer l'étanchéité des ponts et viaducs, il existe **5 types d'étanchéité**, dont deux sont codifiés au travers du fascicule 67, titre 1 (référence au § 2.1.1), alors que les autres sont présentés dans le guide STER 81 du SETRA (référence au § 2.1.2). On peut les décrire sommairement comme suit.

1.1.2.1 - Etanchéité asphalte



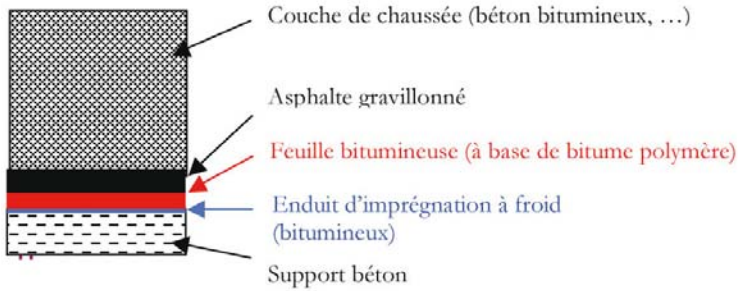
Crédit photo SETRA/CTOA

1.1.2.2 Etanchéité par feuille préfabriquée monocouche



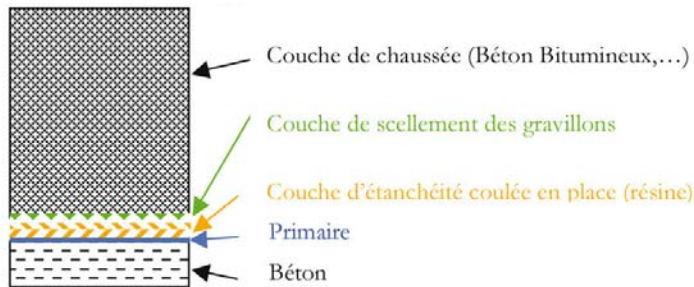
Crédit photo SETRA/CTOA

1.1.2.3 Etanchéité par feuille préfabriquée + Asphalte



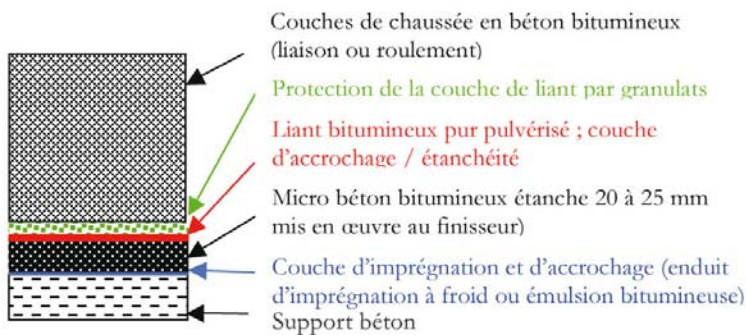
Crédit photo SETRA/CTOA

1.1.2.4 Etanchéité de type SEL ou FMAS



Crédit photo SETRA/CTOA

1.1.2.5 Etanchéité par procédés MHC



Crédit photo SETRA/CTOA

1.1.3 LA PROCÉDURE D'ÉVALUATION PAR AVIS TECHNIQUE

Les travaux d'étanchéité des ponts routes représentent environ 2% du coût total d'un ouvrage (variable de 1 à 3,5%) et sont donc d'un poids relativement faible par rapport aux autres éléments de la structure. Cependant les conséquences d'un mauvais choix du type d'étanchéité, des défauts d'application, d'usage de matériaux inadéquats, etc. peuvent être graves pour la tenue des ouvrages. Le coût des réparations et de leurs conséquences dépasse alors largement le coût de l'investissement initial, aussi bien du fait des travaux (démolition du revêtement, de l'étanchéité, réparation du support) que des conséquences liées à l'interruption de la circulation, totale le plus souvent.

Il est donc nécessaire de s'assurer que les produits, procédés ou systèmes qui seront proposés pour constituer une étanchéité de pont soient parfaitement efficaces, bien adaptés au domaine d'emploi et correctement mis en œuvre.

Or, en l'état actuel des connaissances, il n'existe pas de possibilité de donner une appréciation performancielle globale sur l'efficacité et la durabilité des chapes sur la base d'essais normalisés. Actuellement, il n'existe que des essais normalisés permettant d'examiner certaines caractéristiques pour certaines familles de produits.

Face à la nécessité d'une évaluation de la performance et de la durabilité des divers produits ou systèmes proposés et devant la difficulté de traiter cette évaluation sur la base de normes de performances, la profession, en liaison avec le SETRA, a proposé de passer par une **procédure d'Avis Technique**.

Un Avis Technique est un document d'information destiné à fournir aux divers intervenants (maître d'ouvrage, maître d'œuvre et entreprise) une opinion autorisée sur le comportement prévisible des produits, procédés et matériels concernés, de manière à permettre aux dits intervenants de prendre leur décision en pleine connaissance de cause.

C'est donc un moyen mis à la disposition de l'ensemble des acteurs du marché pour les éclairer dans l'exercice de leur travail, dans l'évaluation et le choix des techniques à employer.

Il est important de noter que, dans le cadre de cette procédure, toute autre solution est applicable si elle recueille l'accord de toutes les parties impliquées (ce qui la différencie d'une procédure d'homologation).

> Un Avis Technique est donc un document qui apporte :

- une description du produit avec sa constitution,
- une évaluation de l'aptitude du produit à son usage faite par rapport à un référentiel technique commun,
- une garantie sur la composition du produit et sa qualité de fabrication.

A noter que les produits de la famille des systèmes d'étanchéité liquide (ou film mince adhérent au support) font l'objet d'un marquage CE en cours de mise en place sur la base de l'ETAG N° 33 et que les étanchéités à base de feuilles préfabriquées bitumineuses devraient l'être prochainement (sur la base d'une norme EN 14695).

1.1.4 CONTEXTE PARTICULIER DE LA RESPONSABILITÉ CONTRACTUELLE OU DÉCENNALE

Les étanchéités des ponts font l'objet d'une responsabilité décennale de par la loi (voir le § «Introduction» de guide) mais le fascicule 67-1 (référence § 2.1.1) recommande fortement d'inclure, dans les marchés, une garantie particulière (cf. annexe 1 du Fascicule 67, titre 1) qui correspond à une extension de la garantie de parfait achèvement des travaux. Ces garanties sont signées par le titulaire du marché qui n'est pas, en général, l'étancheur mais l'entreprise principale constructrice de l'ouvrage.

En cas de désordres, c'est à cette entreprise que l'on s'adressera, à charge pour elle, une fois les causes bien déterminées, de procéder à la remise en état de l'ouvrage

Durant cette période de garantie, sauf déficience de l'étancheur, c'est à lui d'intervenir et de mettre en place les procédés et/ou les produits adaptés au procédé en place.

Durant et au-delà de cette période, les procédés de réparation devront être compatibles avec les matériaux existants. En général, il existe, surtout pour les produits à base de bitume, de bonnes compatibilités entre les techniques : on peut envisager une réparation par feuilles préfabriquées bitumineuses sur un procédé bicouche asphalte (les asphalteurs sont d'ailleurs souvent des applicateurs de feuilles). Par contre, la réparation d'un procédé SEL ne peut se faire qu'avec un procédé SEL dont les éléments chimiques sont compatibles avec ceux laissés en place.

Nota : Si la responsabilité décennale découle bien de l'application des lois 1792 et 2270, il faut savoir que, contrairement au bâtiment, il n'y a pas d'obligation d'assurance pour les entreprises réalisant les infrastructures relevant du domaine de ce document, ce qui a été confirmé par l'ordonnance n° 2005-658 du 8-06-05 dans son article « **L. 243-1-1. - I. - Ne sont pas soumis aux obligations d'assurance édictées par les articles L. 241-1, L. 241-2, et L. 242-1 les ouvrages maritimes, lacustres, fluviaux, les ouvrages d'infrastructures routières, portuaires, aéroportuaires, héliportuaires, ferroviaires, les ouvrages de traitement de résidus urbains, de déchets industriels et d'effluents, ainsi que les éléments d'équipement de l'un ou l'autre de ces ouvrages.** »

Il appartient donc au maître d'ouvrage de prévoir, dans son marché, une assurance particulière afin de couvrir ce risque, s'il considère que l'enjeu est justifié.

1.1.5

CAS PARTICULIERS DES ÉTANCHÉITÉS DE PONTS RAILS

Pour pouvoir être appliqué sur un tablier de pont rail, le procédé d'étanchéité doit satisfaire au référentiel «ponts routes» et donc disposer d'un avis technique SETRA (ou être inscrit sur une liste d'aptitude SNCF après avoir subi les tests définis dans le référentiel «ponts routes»). Ceci est une condition nécessaire mais pas suffisante. En effet, pour tenir compte de la présence de ballast au contact de l'étanchéité, le procédé proposé doit, en complément, avoir subi, avec succès, l'essai de tenue au poinçonnement dynamique (dit du «vibrogyre») correspondant à l'emploi sur les ponts rails (comportant un ballast¹) et qui fait l'objet d'une méthode d'essai spécifique SNCF.

Le principe de cet essai consiste à exercer un effort vertical sur une plaque, qui représente une traverse, variant de 30 kN au minimum (pour éviter un effet de ressaut du ballast et pour représenter une charge mini correspondant à la réalité) à 125 kN au maximum avec une fréquence de 4,2 Hz, pendant 2 x 10⁶ cycles.

Le choix du nombre de cycles est le résultat d'une constatation : il représente un trafic de trains durant 6 mois environ. En effet, l'action de poinçonnement du ballast résulte de sa mise en place au jeune âge pendant les premiers mois de service. Ensuite, il reste quasi-stable et ne provoque plus de poinçonnement. Cet essai est représentatif d'une durée de service bien supérieure à une dizaine d'années

En cas de doute sur le résultat, il est procédé à un essai d'étanchéité sans pression. En effet, contrairement au pont route, il n'y a pas la pression induite par la circulation par l'intermédiaire des pneus.

> Même si la liste d'aptitude SNCF comporte de nombreux procédés ayant satisfait au référentiel pour les ponts rails, on utilise, principalement, les procédés suivants en référence aux complexes des ponts routes :

- feuille préfabriquée bitumineuse avec couche de protection en asphalte ou avec une couche de protection en micro enrobé bitumineux,
- feuille préfabriquée bitumineuse avec couche de protection comprenant deux chapes préfabriquées bitumineuses,
- feuille préfabriquée bitumineuse avec couche de protection géotextile.

¹ Les ponts sans ballast sont rares et concernent surtout des ouvrages de type métro (VAL, par ex.) qui font l'objet de techniques particulières, en général à base de complexe SEL.

1.2.1 FAMILLES ET LOCALISATION

> Les procédés utilisés appartiennent à des familles (voir F67-3, ch. 2 et suivants sous la référence du § 2.2.1) qui ont un domaine d'emploi fonction de la localisation de l'étanchéité (voir F67-3, art 2.3) : en extrados ou en intrados. Cela donne les dispositions suivantes :

a) En extrados

Pour cette localisation, une distinction supplémentaire est à faire selon le type de structure. A cet effet, on distingue quatre types de structure. La figure 1 présente trois de ces types avec structure à remblayer à laquelle on ajoutera le cas des tunnels creusés avec étanchéité extradossée en indépendance qui s'apparente au cas 1.

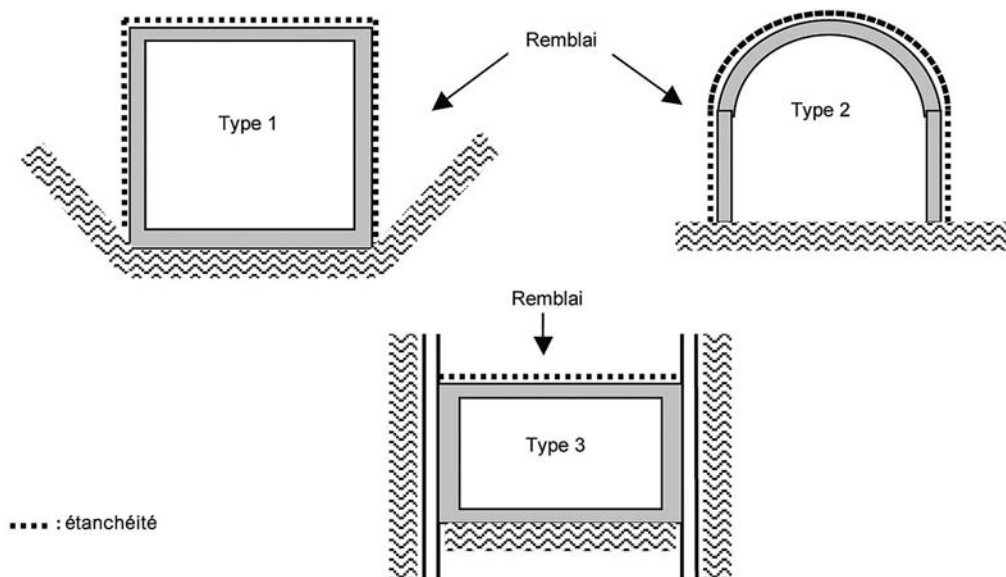


Figure 1 : les trois types de structure à remblayer.

Le système d'étanchéité est positionné sur la structure de l'ouvrage ou le support ad hoc pour, ensuite, être recouvert par le remblai.

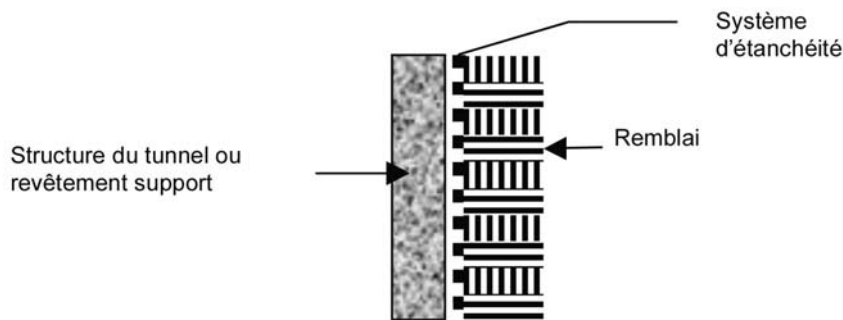


Figure 2 : le principe de la pose en extrados - Document SOPREMA.

> On trouvera les procédés suivants adaptés à cette pose en extrados :

- les membranes d'étanchéité à base de bitume polymère, en adhérence, plutôt réservées aux extrados sur structures à remblayer de types 1 et 3 ;
- les Dispositifs d'Etanchéité par Géomembrane Bitumineuse (DEG-B), en indépendance, que l'on trouvera sur les voûtes (type 2) et les traverses supérieures des ouvrages de type 3 des structures à remblayer;
- les Dispositifs d'Etanchéité par Géomembrane synthétique à base de Polymère (DEG-P), plutôt réservés aux extrados de tunnels creusés et des ouvrages de types 1, 2 et 3 ;
- les Systèmes d'Etanchéité Liquide (SEL), particulièrement destinés aux ouvrages de tête des tunnels et à l'extrados des structures à remblayer de types 1, 2 et 3 ;
- les Géosynthétiques Bentonitiques (GSB), plutôt réservés aux extrados de tranchées couvertes, types 1 et 3 ;
- les Géocomposites d'étanchéité, plutôt réservés à l'étanchéité extradossée des radiers de structures intégrées de type 3.

Les DEG font, très souvent, l'objet d'un compartimentage qui est décrit au § 1.2.2.3.

b) En intrados

Dans cette localisation, quel que soit le type de structure, le système d'étanchéité est sur le revêtement définitif (ou la structure) de l'ouvrage sur lequel il est toujours adhérent. Il peut, parfois, être recouvert d'un revêtement intérieur.

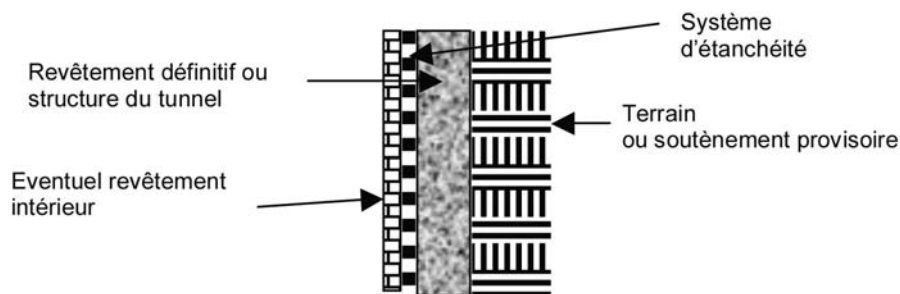


Figure 3 : le principe de la pose en intrados

> C'est le domaine d'emploi des :

- Systèmes d'Etanchéité Liquide (SEL) pour les tunnels de moins de 300 m de longueur,
- revêtements d'imperméabilisation par minéralisation du béton,
- revêtements d'imperméabilisation par enduit mince ou épais, à base de liant modifié.

1.2.2 DESCRIPTION DES PROCÉDÉS

> Dans le contexte des types de structure et des localisations décrites dans le paragraphe précédent, les procédés sont les suivants.

1.2.2.1 Les membranes d'étanchéité à base de bitume modifié par des polymères (Bmp)

> Le complexe d'étanchéité est similaire, pour les deux premières couches, au procédé décrit au § 1.1.2.2 ci-dessus. Il comprend :

- une couche d'accrochage au béton de ciment,
- la couche d'étanchéité en feuille préfabriquée armée à base de bitume Bmp,
- une deuxième couche en feuille préfabriquée bitumineuse qui est, éventuellement, mise en œuvre en cas de végétalisation du terrain sus-jacent,
- une couche de protection supérieure constituée par un géotextile (fibres synthétiques), d'une masse surfacique minimale de l'ordre de 700 g/m²,
- pour les parties verticales d'ouvrage, une (ou plusieurs fixations) mécanique(s) intermédiaire(s), espacée(s) de 3,50 m et composée(s) d'un plat métallique galvanisé.

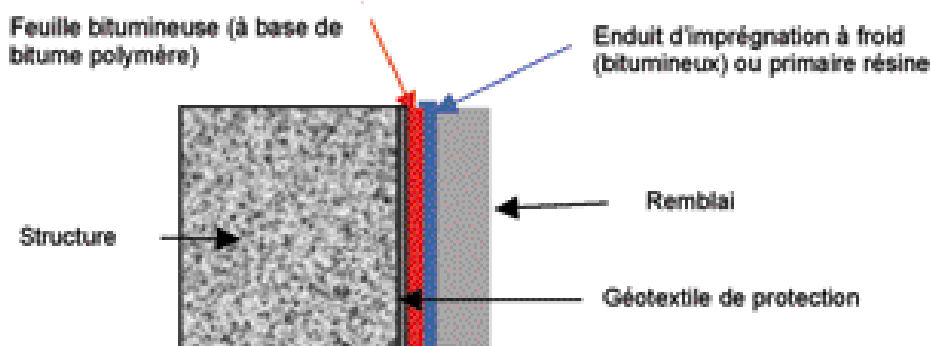


Figure 4 : la composition type d'un complexe comprenant des membranes à base de bitume Bmp.

1.2.2.2 Les Dispositifs d'Étanchéité par Géomembrane bitumineuses (DEG-B)

> Un DEG est un ensemble indissociable qui comprend :

- les différents produits constituant les différentes structures : de support, d'étanchéité et de protection,
- les assemblages par soudure ou collage entre eux des différents éléments de géomembranes,
- le raccordement étanche aux différents ouvrages en béton des horizons étanches,
- l'ancrage en tête de talus.

La géomembrane intégrée dans un DEG-B comporte une masse bitumineuse rendue fluide par la chaleur au moment de la fabrication pour imprégner à cœur («enrober») un géotextile généralement non tissé aiguilleté en polyester ; le géotextile sert à la fois de support de fabrication et de renfort mécanique. La géomembrane peut comporter également un voile de verre.

L'épaisseur est de l'ordre de 3 à 6 mm pour une masse surfacique de 5 à 8 kg/m².

La surface reçoit un grésage minéral. La largeur des lés varie de 2 à 4 m avec une livraison en rouleau mais, dans le cas des ouvrages de type 2, la largeur est limitée à 2 m.

La masse bitumineuse d'enrobage est un liant à base de bitume modifié par des polymères (BMp)² généralement de type SBS. Quant à la charge, elle est constituée de fines minérales («filler»).

Le mode d'assemblage est une monosoudure large exclusivement par fusion superficielle des surfaces à assembler (exclusivement par flamme propane pour les ouvrages souterrains) sur une largeur de 12 à 15 cm, suivie d'un marouflage (voir figure 6, schéma du haut).

1.2.2.3 Les Dispositifs d'Étanchéité par Géomembrane synthétique (DEG-P)

La partie géomembrane est constituée (voir figure 5) d'une ou plusieurs couches de matériaux polymériques, obtenue en usine par des procédés d'extrusion ou de calandrage uniquement, car les matériaux fabriqués par enduction ne sont plus admis en ouvrage souterrain.

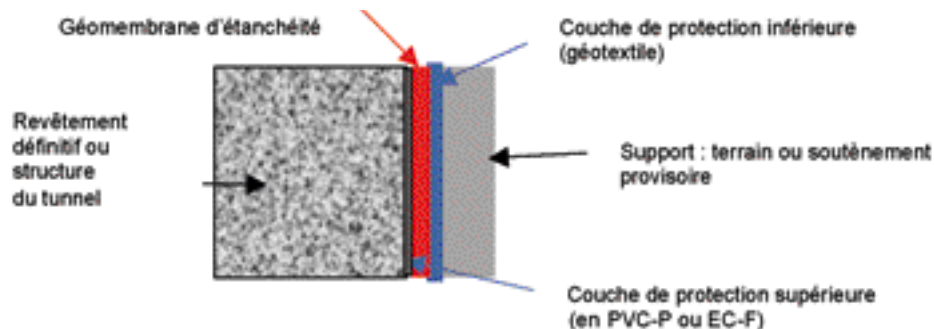


Figure 5 : la composition type d'un complexe DEG-P

² Les géomembranes à base de bitume oxydé ne sont plus admises pour l'étanchéité des ouvrages souterrains mais, en réparation, on peut encore en rencontrer.

Par dérogation à l'article 7.4.2.2.2 du F 67 titre 3 du CCTG, l'épaisseur minimale est de 2 mm avec une masse surfacique d'environ 2,5 kg/m².

La largeur des lés est de 2 m maximum.

Le matériau contient au moins 50% de polymère(s), des charges, des plastifiants et des additifs divers. Le polymère est, essentiellement, un thermoplastique : PVC-P ou EC-F.

Les nappes sont assemblées sur le chantier par thermosoudure à l'air chaud. La soudure peut être **simple** (30 mm environ) ou **double** (2 x 12 mm environ), avec, dans ce cas, un canal central (pour permettre un contrôle sous pression de la qualité du soudage) (voir figure 6).

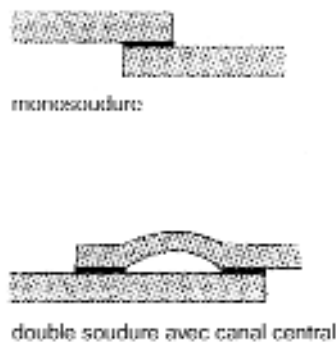


Figure 6 : Les modes de soudage de géomembranes synthétiques par mono soudure ou par double soudure avec canal central. Chapitre 1.1 de la référence 2.3.3,- guide complémentaire - Document SETRA.

NOTA : La couche de protection supérieure (d'un DEG-B ou DEG-P) n'est pas toujours utilisée quand la structure n'est pas ferrillée ; elle reste, par contre, bien adaptée au cas de tunnel cadre comportant un ferrillage. La protection inférieure sur le support est particulièrement adaptée aux situations dans lesquelles la surface est très irrégulière (béton projeté, parois moulées, soutènements métalliques, ...).

> Disposition particulière aux DEG : le compartimentage

Un compartimentage est la division du complexe d'étanchéité, quand il n'est pas adhérent au support, en surfaces élémentaires à l'intérieur de chacune desquelles toute venue d'eau traversant le complexe reste cantonnée (F67-3, Annexe 13 [voir référence au § 2.2.1]).

Cette technique est utilisée sur **toutes** les structures (le F67, titre 3, la rend obligatoire pour les tranchées couvertes, Art 7.4.2.4) recevant une étanchéité par DEG-B ou DEG-P, mais elle peut être utilisée dans d'autres contextes, auxquels cas le dossier de l'ouvrage sera à consulter pour en vérifier son existence. Ce compartimentage est défini comme suit (F67-3, Annexe 4, art 2) :

«La [géo]membrane d'étanchéité sera compartimentée de la façon suivante : compartimentage transversal (radier, piédroits, dalle supérieure) à chaque joint de dilatation, compartimentage longitudinal sur chaque piédroit au niveau de la reprise de béton piédroit /dalle supérieure.

Le compartimentage fait l'objet d'un plan qui indiquera la position des profilés ainsi que celui des pièces de raccordement (croix, tés, angles de liaison, etc.) ainsi que la position et le type des pipettes de contrôle et d'injection (5 pipettes minimum par compartiment). Pour les radiers importants, il est conseillé de délimiter des surfaces de compartimentage inférieures à 250 m².» (soit un carré de l'ordre de 15 m de coté).

Cet article du F67, titre 3, est complété par les recommandations de l'AFTES (référence sous le § 2.2.3).

Ce compartimentage est réalisé selon différents procédés en fonction de la localisation et de la nature du DEG : sur des profilés, par des bandes en feuille préfabriquée bitumineuse, avec des bandes de pontage, etc.

Il est important de vérifier l'existence d'un tel compartimentage dans le cadre des travaux de réparation car il va permettre des interventions ciblées et limitées au compartiment comportant le défaut d'étanchéité.

1.2.2.4 Système d'Etanchéité Liquide (SEL)

Dans ces systèmes, l'étanchéité est assurée par un film mince à base de résine synthétique (époxydique, polyuréthane, époxy-uréthane ou méthacrylate) appliquée directement sur le support sur lequel elle est adhérente (la composition est similaire à celle décrite au § 1.1.2.4 ci-dessus).

Le SEL comprend, le plus souvent :

- une couche primaire d'accrochage,
- une ou plusieurs couches de résine (en fonction des procédés proposés). La dernière couche peut recevoir un traitement spécifique qui a pour but d'assurer la protection de l'étanchéité.

1.2.2.5 Les revêtements d'imperméabilisation par minéralisation du béton

«Ce type de revêtement est constitué par une poudre prête à mouiller ou une pâte conditionnée en usine, composée de [sels] minéraux venant en addition à du ciment et à des matières inertes et mélangées à l'eau in situ en vue de son application immédiate en couches minces [sous forme de barbotine].

Ces produits mis en œuvre sous forme de barbotine, sur les supports en béton armé, pénètrent dans les capillaires pour y former par réaction chimique avec la chaux libre du béton, des cristaux insolubles.» (référence au § 2.2.7, Art. 4.3.6).

Les quantités définies par le fabricant, sont (sans adjonction d'eau), de l'ordre de 1 kg/m² en surface horizontale et 1,5 kg/m² en surface verticale en deux couches.

1.2.2.6 Les revêtements d'imperméabilisation par enduit mince ou épais à base de liant modifié

Voir les articles 4.3.4 et 4.3.5 de la référence au § 2.2.7.

Ce revêtement est constitué par un mortier adjuvanté, conditionné en usine (enduit mince) ou un mortier hydrofugé, préparé in situ (enduit épais).

> **Le complexe comprend au moins les couches suivantes :**

- une couche d'accrochage, surtout en vertical,
- une ou plusieurs couches de mortier.
Pour les enduits minces, l'épaisseur minimale est supérieure ou égale à 3 fois le diamètre du plus gros granulat mais toujours supérieure à 4 mm en horizontal et 3 mm en vertical. Pour les enduits épais, l'épaisseur doit être de 30 mm en horizontal et de 24 mm en vertical.
- une couche de finition et de protection contre les agressions mécaniques.

1.2.2.7 Etanchéité par traitement des joints

Dans la zone des joints, si l'on est dans la configuration indiquée dans l'introduction, § b, second alinéa, des produits spéciaux seront mis en place afin d'assurer l'étanchéité de la structure ou compléter le complexe d'étanchéité prévu.

> **Pour cela, il existe plusieurs techniques :**

- un dispositif de captage des eaux dont l'objet est de mettre hors d'eau la zone afin d'appliquer les autres constituants du joint. Il comprend, en général, une demi-coquille et un produit de blocage de celle-ci (le drainage peut n'être que provisoire).
- un produit souple d'étanchéité (époxy-uréthane, polysulfure, polyuréthane mono ou bi composant) qui doit adhérer aux lèvres du joint et suivre les éventuelles variations dimensionnelles,
- un dispositif de recouvrement du joint dont la fonction est la protection du produit du joint, le maintien de celui-ci à l'intérieur de la saignée et la réalisation d'un complément d'étanchéité.

Par ailleurs, la géométrie de la zone du joint devra être adaptée au dispositif à venir.

1.2.2.8 Les autres systèmes

Pour mémoire, on citera les géocomposites d'étanchéité qui ne sont pas décrits ici car hors du domaine d'application de ce document et d'utilisation particulière. Cependant ces procédés, faisant parfois l'objet d'une propriété industrielle ou commerciale, peuvent bénéficier d'un Avis d'Experts délivré par le GT n°9 de l'AFTES. Pour plus de précisions à leur sujet, le lecteur pourra se référer à l'article publié dans la revue TOS n° 168 : l'étanchéité des ouvrages sous-plate-forme routière, autoroutière et ferroviaire. On notera que les géosynthétiques bentonitiques sont de plus en plus souvent utilisés pour les ouvrages de type 1 et 3.

1.2.3 LA PROCÉDURE D'ÉVALUATION PAR AVIS TECHNIQUE

Les procédés d'étanchéité destinés aux ouvrages objets de ce paragraphe sont soumis à une procédure d'avis technique et ce qui est indiqué au § 1.1.3 ci-dessus pour les ponts routes s'applique **ipso facto** pour les procédés d'étanchéité pour les tunnels et autres ouvrages souterrains similaires.

1.2.4 CONTEXTE PARTICULIER DE LA RESPONSABILITÉ CONTRACTUELLE OU DÉCENNALE

Voir le chapitre IV de la référence 2.2.2 ainsi que le nota du § 1.1.4 du présent guide, qui s'applique à ce type d'infrastructure.

Dans le cas où le marché avec l'entreprise principale a prévu une garantie particulière, si des désordres apparaissent, c'est à cette entreprise que l'on s'adressera, à charge pour elle, une fois les causes bien déterminées, de procéder à la remise en état de l'ouvrage

Durant cette période de garantie, sauf déficience de l'étanchéité, c'est à lui d'intervenir et de mettre en place les techniques adaptées au procédé en place.

Au-delà de cette période, on devra s'assurer que les procédés de réparation ou les produits utilisés à cette occasion seront compatibles avec les matériaux existants. Ceci est à vérifier au cas par cas, éventuellement par des essais adaptés.

Nota : les ouvrages concernés sont ceux définis à l'alinéa c de l'introduction du présent guide.

1.3.1 LES TECHNIQUES CONCERNÉES

Le présent guide ne traite que des étanchéités de bassins réalisées par des géomembranes bitumineuses ou synthétiques (intégrées dans un DEG-B ou -P). Les étanchéités par des géosynthétiques bentonitiques ne sont pas envisagées car il s'agit de techniques très particulières relativement récentes (d'où un manque de recul sur les techniques de réparation) et donc encore marginales pour ce domaine d'utilisation.

La réparation de l'étanchéité des réservoirs en béton armé n'est pas, non plus, abordée dans ce guide : cet aspect «réparation» est plus du domaine des guides STRRES FABEM 1, 2 et/ou 3 traitant de la «réparation des structures en béton» que de ce document.

Les seules précautions porteront sur la vérification :

- de l'étanchéité de la réparation,
- des matériaux d'apport,
- et la compatibilité «alimentaire» éventuelle de ces matériaux de réparation.

1.3.2 LES TYPES D'OUVRAGES EN TERRE COMPORTANT

> Le guide référencé au § 2.3.3 distingue trois grands types d'ouvrages en terre comportant un DEG qui sont les suivants :

a) Les ouvrages de rétention. Ils assurent le confinement momentané, le traitement de la pollution chronique ou une régulation de débit. Ce sont des bassins étanches dans des zones à milieu récepteur vulnérable pour prévenir une pollution accidentelle massive mais où la pollution chronique est sans risque majeur.

b) Les ouvrages de collecte. Ce sont les fossés ou cunettes qui assurent une fonction de collecte et de transport des eaux de ruissellement.

c) Les ouvrages intermédiaires et particuliers. On trouve dans cette catégorie les accotements, pieds de talus en déblais, terre-plein central, talus en remblai,...

1.3.3 COMPOSITION D'UN DEG

L'objectif d'étanchéité s'exprime, pour un DEG, en termes de flux : sous 3 m d'eau, le flux d'eau au travers du dispositif doit être inférieur à un (1) l/jour/m² pendant toute la période de garantie. A noter que les flux mesurés sur les membranes intégrées dans les DEG-B ou DEG-P sont de l'ordre de 100 fois inférieur mais il faut rappeler que le flux s'applique au DEG en tant qu'ouvrage (voir § 1.2.2.2 et ci-après).

> Un DEG doit conserver cette étanchéité (document sous la référence 2.3.3, § 3.1) compte tenu :

a) des contraintes de service, par exemple :

- tassement du support, poinçonnement par les aspérités du support, traction imposée au dispositif,
- vieillissement par suite d'action climatique (rayonnement UV, variations thermo hygrométriques).

b) des contraintes d'exploitation, par exemple :

- confinement d'eaux de ruissellement polluées par des substances chimiques diverses (pollution chronique) ou confinement de substances chimiques pures (pollution accidentelle : hydrocarbures, par exemple),
- contraintes mécaniques liées à l'entretien des bassins.

Pour assurer cette fonction d'étanchéité, compte tenu des différentes contraintes précitées et des différents autres critères à prendre en compte, la géomembrane doit être intégrée dans un **dispositif d'étanchéité** comportant plusieurs structures ayant chacune une fonction (cf. figure 7 [voir aussi le tableau du § 3.2 de la référence § 2.3.3]) et que l'on appelle DEG (pour Dispositif d'Etanchéité par Géomembrane) (voir figure 7).

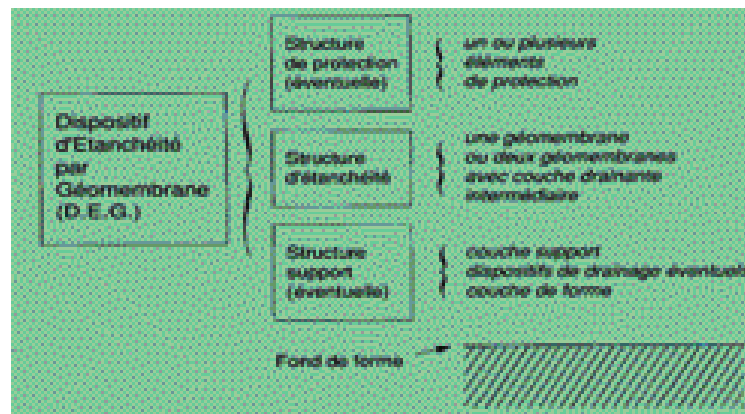


Figure 7 : Principe général d'un DEG - Document CFG
Référence 2.3.1 - figure 1

Si, globalement, la composition des géomembranes utilisés en DEG pour bassins reste très proche ce que l'on trouve pour les ouvrages souterrains (voir les § 1.2.2.2 et 1.2.2.3), on rencontre quelques variantes comme, par exemple pour le PVC-P, une armature textile pour assurer un renfort mécanique et un voile de verre afin d'améliorer la stabilité dimensionnelle, ou bien encore, l'association (en usine) d'un support géotextile pour former une géomembrane composée.

De même, les produits sont livrés avec des largeurs plus importantes, notamment pour les PEHD sur rouleau ou en nappe pour les plus souples (PVC-P, EPDM).

> **Pour le polymère, on rencontre les deux familles suivantes :**

- thermoplastique : PVC-P, PP-F, PEHD et autres polyoléfines,
- élastomères (ou «caoutchouc») : EPDM.

> **Les assemblages des nappes synthétiques réalisés sur le chantier sont fonction des produits :**

a) **pour les thermoplastiques :**

- air ou coin chaud, entre les deux géomembranes sans apport de matière (PVC-P, PP-F, PEHD) (voir le cas de la mono soudure de la figure 6),
- cordon extrudé en surface (PEHD) avec apport de matière (voir figure 8),
- la soudure peut être **simple** (30 mm environ) ou **double** (2 x 12 mm environ), avec, dans ce cas, un canal central (pour permettre un contrôle sous pression de la qualité du soudage) (voir figure 6).



Figure 8 : Soudure par cordon extrudé de géomembranes synthétiques - Document SETRA. Chapitre 1.1 de la référence 2.3.3, guide complémentaire.

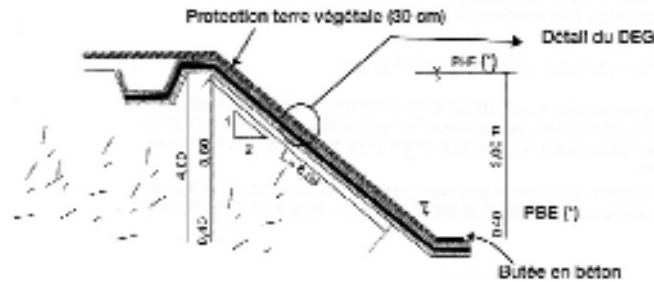
b) **pour les élastomères (EPDM)**, par collage (avec ou sans apport de matière) ou sans canal central (largeur \approx 10 cm) ou par vulcanisation pour certains joints réalisés en usine.

Nota : les assemblages des géomembranes bitumineuses sont identiques à celles décrites au § 1.2.2.2.

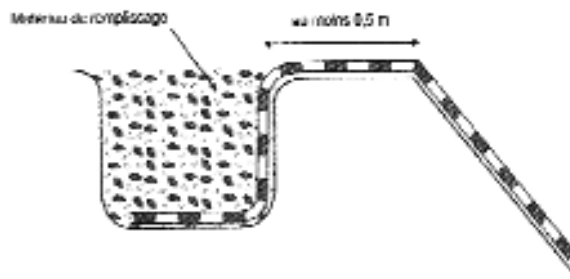
Pour tout ce qui concerne la technique (la structure support, la structure d'étanchéité et la structure de protection), les matériaux utilisés, la conception et la mise en œuvre, etc., la référence du § 2.3.1 constitue une base technique incontournable.

1.3.4 DISPOSITIONS TYPES

Pour éviter des pathologies, des désordres ou des dysfonctionnements, les DEG doivent être implantés en respectant un certain nombre de règles de mise en œuvre. Les variétés de situation ne permettent pas de donner toutes les dispositions à mettre en œuvre et le lecteur est invité à consulter la référence citée au § 2.3.3 dont les figures 9 sont extraites et qui présentent les dispositions types courantes. Ceci permettra, en cas de désordres, de vérifier rapidement si ces dispositions ont bien été respectées car les pathologies ont souvent pour origine un non respect de ces dispositions.



a) Coupe type d'un DEG en talus
* PHE : Plus Hautes Eaux, PBE : Plus Basses Eaux



b) Schéma de principe d'un ancrage d'une géomembrane en tête d'un talus



c) Principe de raccordement étanche d'une géomembrane à un ouvrage en béton
A gauche avec réglet métallique et fixation, à droite par soudure sur un profilé métallique
Figure 9 - Document SETRA.

1.3.5 LES PROCÉDURES D'ÉVALUATION

La vérification des caractéristiques et des spécifications des produits peut se faire chantier par chantier ou bénéficier d'une procédure de certification ASQUAL. Auquel cas, on se limitera à la présentation du certificat (voir le chapitre 5 sur les contrôles).

De même, les soudeurs peuvent avoir une certification de service ASQUAL «application de géomembrane – soudage» en cours de validité.

Il convient, autant que possible, de disposer sur le chantier de ces certificats.

2

Documents de référence

2.1 Etanchéité des ponts routes et ponts rails

2.2 Etanchéités des tunnels et autres ouvrages souterrains similaires

2.3 Etanchéité de bassins par DEG

- 1 - Le fascicule 67**, titre 1, du CCTG, Etanchéité des ponts routes. Support en béton de ciment. Fascicule spécial N° 85-32bis. Décret N° 85-404 du 3 avril 1985.
- 2 - Le Guide STER 81. SETRA**. Juillet 1981. Réf : F8210 et ses mises à jour N°1 (Juillet 1990, sur les procédés d'étanchéité par MHC) et N°2 sur la réfection des étanchéités et des couches de roulements des tabliers d'ouvrages d'art. Réparations localisées de Mai 2001. Réf FO112).
- 3 - Dossier des Avis Techniques** (avec le Bordereau). Réf F AT ET....
- 4 - Instruction technique sur la Surveillance, l'Entretien et la Réparation des OA** 1^{re} partie et sa 2^{ème} partie composée par le Fascicule 21 : équipements (12.83) (en cours de révision). Réf SETRA : F80097, LCPC : FASC21 et son Guide de visite (2.83).
- 5 - Normes d'essais performanciels.**
- 6 - Guide Memoar**. Fiche Etanchéité. Mémento pour la mise en œuvre sur les ouvrages d'art. SETRA. O757CD (disponible sous forme d'un CD rom vendu par le SETRA et prochainement accessibles sur Internet via le site de la DTRF, sur abonnement).
- 7 - Catalogue de dégradations de chaussées (SETRA-LCPC)** - Méthode d'essai N° 52 du LCPC. Version 1998.
- 8 - Guide Technique LCPC** : «Entretien des complexes d'étanchéité /couches de roulement des tabliers d'ouvrages d'art. Cas des ouvrages comportant un renformis». 07-2006. (réf : RENFORMIS).
- 9 - Guide technique LCPC** «Pathologies, diagnostic et réparation des chapes d'étanchéité» (en préparation).
- 10 - Bulletin «Ouvrages d'art» publié par le SETRA**. N° 56, article «le contrôle non destructif de réception des chapes d'étanchéité des ponts routiers par thermographie infra rouge (H. Cannard, M. Fragnet, F. Pero, MP. Thaveau).
- 11 - Guides FABEM 1** «reprise des bétons dégradés» http://www.stres.org/pdf/FABEM_1.pdf, FABEM 2 "Traitements des fissures par calfeutrement ou pontage et protection localisée ou création d'un joint de dilatation" <http://www.stres.org/pdf/guideO2.pdf> et FABEM 3 "Traitements des fissures par injection" <http://www.stres.org/pdf/guideO3.pdf> .
- 12 - Plaquettes étalons disponibles sous la référence F0232 au SETRA**. Il existe, en outre, une procédure de réception de la texture de surface d'un pont routier à support d'étanchéité en béton de ciment disponible auprès du SETRA.
- 13 - NF P98-282. Essais relatifs aux chaussées** - Produits d'étanchéité pour ouvrages d'art - Mesure d'adhérence des produits au support - Essai en laboratoire ou in-situ à vitesse de traction contrôlée. Juin 2007.
- 14 - NF EN 1766 (IC : P18-920)**. Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton - Méthodes d'essais - Bétons de référence pour essais. Mars 2000.
- 15 - Pour les ponts rails uniquement, LIVRET 2.43**. Exécution des travaux d'étanchéité (parution prévue en janvier 2010).

1 - Le fascicule 67, titre 3, du CCTG, Etanchéité des ouvrages souterrains. Fascicule spécial N° 92-5 TO. Décret N° 92-72 du 16 Janvier 1992 (en cours de révision).

Par ailleurs, l'AFTES (Association Française des Tunnels et de l'Espace Souterrain) publie régulièrement des recommandations ou des articles, notamment dans le domaine concerné par le présent document, dans la revue «Tunnels et Ouvrages Souterrains» (TOS) que l'on peut soit télécharger gratuitement, soit commander sur le site <http://www.aftes.asso.fr/> . Parmi ces publications, on peut citer les suivantes :

2 - GT N°14, groupe de travail de l'AFTES «entretien et réparations».

3 - N°130 de juillet/août 1995 Recommandation(s) sur l'utilisation et la mise en œuvre d'un compartimentage associé à un dispositif d'étanchéité par géomembrane synthétique.

4 - N°139, repris dans le numéro spécial d'octobre 1999, sur les Recommandations de l'AFTES relatives «aux méthodes de diagnostic pour les tunnels revêtus».

5 - N°159 : Recommandations pour l'étanchéité et le drainage des ouvrages souterrains.

6 - N°194/195 : Recommandations pour le traitement des arrêts d'eau dans les ouvrages souterrains. Texte préparé sous la présidence de M. Jean-Louis MAHUET – Animateur du GT N° 9 «Etanchéité des Ouvrages Souterrains» de l'AFTES.

Voir, aussi, l'abondante bibliographie dans ce document.

7 - Norme NF P 11-221-1. DTU 14-1 Travaux de bâtiment. Travaux de cuvelage. Partie 1 : cahier des clauses techniques.

- 1 - Recommandations générales pour la réalisation d'étanchéités par géomembranes. Fascicule N°10 de 1991.** Publié par le Comité Français des Géosynthétiques. Téléchargeable sur le site www.cfg.asso.fr.
- 2 - Détection de fuites dans les dispositifs d'étanchéité par géosynthétiques.** Présentation de méthodes de détection et de localisation de défauts dans les dispositifs d'étanchéité par géomembranes. Version 6 Juin 2003. Publié par le Comité Français des Géosynthétiques. Téléchargeable sur le site www.cfg.asso.fr.
- 3 - Guide technique et son guide complémentaire** «Etanchéité par géomembranes des ouvrages pour les eaux de ruissellement routier». SETRA/LCPC. Novembre 2000. Réf : D 0035.
- 4 - Norme NF EN 1504-5 (IC : P18-901-5).** Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton - Définitions, prescriptions, maîtrise de la qualité et évaluation de la conformité - Partie 5 : produits et systèmes d'injection du béton. Mars 2005.
- 5 - Norme NF P 11-221-1. DTU 14-1 Travaux de bâtiment.** Travaux de cuvelage. Partie 1 : cahier des clauses techniques.

3

Aide au diagnostic sur l'état et l'efficacité des chapes

3.1 Cas des étanchéités des ponts routes

3.2 Cas des étanchéités des tunnels et autres ouvrages souterrains similaires

3.3 Cas des étanchéités des bassins à base de DEG

3.1.1 INTRODUCTION

La difficulté de l'appréciation du bon état d'une chape d'étanchéité vient du fait qu'elle est placée entre deux parties, la structure et la couche de roulement, et que son examen direct n'est pratiquement jamais possible (sauf en quelques points localisés comme sous les trottoirs et les relevés).

La connaissance de l'état de la chape est cependant nécessaire pour apprécier son degré de vieillissement et son aptitude à assurer son service.

Heureusement, on dispose d'un certain nombre de moyens pour être renseigné sur la chape, son existence et son état.

Ces moyens sont visuels et passent par l'examen de l'état du revêtement au-dessus de la chape, par des examens visuels sous la structure et par des sondages non destructifs (certes encore en cours de développement) ou destructifs.

> Ces examens sont importants pour définir la stratégie de la réparation :

- a) Certaines structures ne comportent pas de chape d'étanchéité mais l'état de l'ouvrage rend souhaitable l'existence d'une protection : la mise en œuvre d'une chape d'étanchéité est à prévoir.
- b) L'étanchéité s'avère défectueuse ponctuellement ou sur toute sa surface : il faut alors refaire une étanchéité valable.
- c) Enfin, les couches de roulement sont soumises à l'action du trafic : comme toutes les couches de roulement, elles s'usent et il devient nécessaire de procéder soit à des opérations d'entretien (enduisage, rapièçage), soit à des réfections partielles ou totales et, comme la couche de roulement est solidaire de l'étanchéité, cette réfection ne va pas sans intervention sur la chape d'étanchéité.

Les cas de figures sont nombreux car les interventions sont parfois à faire sur des ouvrages de conception déjà ancienne où rien n'est prévu à cet effet.

3.1.2 LE DIAGNOSTIC VISUEL SUR LA COUCHE DE ROULEMENT

La première étape porte sur la couche de roulement et consiste en un diagnostic visuel.

3.1.2.1 Conditions de fonctionnement des couches de roulement sur un pont

Une couche de roulement sur un pont est mise en œuvre dans des conditions particulières et subit des contraintes en service différentes de la section courante. Pour bien situer le problème, il est intéressant de rappeler ces données particulières, car elles vont expliquer certains phénomènes de comportement dans le temps, en service.

> **Une couche de roulement, que ce soit sur ouvrage ou en section courante, doit satisfaire, de manière durable, aux caractéristiques suivantes :**

- présenter un bon uni,
- offrir de bonnes caractéristiques antidérapantes, quelles que soient les conditions atmosphériques,
- très bien résister à la fatigue,
- avoir une bonne résistance à l'orniérage,
- résister au dése robege, ce qui suppose une faible perméabilité, a priori peu compatible avec de bonnes caractéristiques antidérapantes.

> **Or, sur ouvrage d'art, un certain nombre de paramètres particuliers vont influencer sur la durabilité et le comportement. On peut les résumer comme suit :**

1 - Présence d'eau à l'interface étanchéité/chaussée

Les couches de roulement, quelle que soit leur nature, ne peuvent être considérées comme une surface étanche.

Les eaux percolant la chaussée cheminent jusqu'à la chape d'étanchéité et, contrairement à ce qui se passe en section courante, elles se trouvent alors arrêtées et ne s'éliminent que très difficilement et très lentement par cheminement à l'interface étanchéité/chaussée, en suivant les pentes, quand il y en a.

La partie inférieure de la couche de roulement se trouve donc fréquemment le siège d'une saturation en eau qui peut aboutir au phénomène de dése robege des granulats et aux conséquences de cycles de gel/dégel.

2 - Contraintes de traction

Certaines parties d'ouvrage sont le siège, principalement les sections sur appui, de contraintes de traction (en variation ou même en valeur absolue). Ces contraintes sont transmises, en partie au moins, aux couches de chaussées sus-jacentes où elles sont amplifiées par leur épaisseur.

3 - Souplesse des structures porteuses

Exploitant au mieux les matériaux, les structures sont devenues relativement souples et amortissent mal les vibrations (beaucoup moins que la structure d'une chaussée sur remblai), d'où une fatigue plus importante et plus rapide des couches de roulement dont les constituants travaillent très mal à la fatigue.

Comme les ouvrages sont de mauvais amortisseurs, il est possible aussi qu'une partie de l'énergie de compactage soit absorbée par vibration de la structure entraînant une insuffisance de compacité.

4 - Liaison avec la chape d'étanchéité

- A la mise en œuvre, on a démontré que la qualité de cette liaison influait sur la compacité et la facilité de compactage des enrobés³.
- Dans le cas d'ouvrage courbe ou en pente ou situé sous un trafic lourd et canalisé, les revêtements transmettent à l'interface enrobé/étanchéité des sollicitations parfois importantes et, si la liaison est mauvaise, il y a risque de glissement et/ou d'orniérage.

5 - Gradients thermiques

Thermiquement moins bien isolés et de moindre inertie, les ponts subissent des gradients de température beaucoup plus importants que les structures de chaussée en section courante.

Il en découle des risques supplémentaires de rupture de la couche de roulement par retrait ou de fluage en période de températures élevées.

Pour la même raison, les ponts constituent, d'une façon générale et plus particulièrement ceux franchissant des zones humides ou ventées, des zones préférentielles d'apparition de certaines formes de verglas. D'où l'intérêt de disposer d'un revêtement à bonne rugosité superficielle.

De même, cette plus faible inertie thermique des ouvrages par rapport aux sections adjacentes peut provoquer un refroidissement plus rapide des bétons bitumineux dès la mise en œuvre et, partant, une compactibilité plus difficile.

Les points évoqués ci-dessus sont les explications avancées suite aux constatations effectués par divers laboratoires qui feraient apparaître une légère perte de compacité entre l'ouvrage et ses accès immédiats pour une formule donnée de béton bitumineux mise en œuvre dans des conditions identiques.

6 - Inversion des modules d'élasticité

Le module d'élasticité du béton de ciment du tablier est toujours supérieur au module d'élasticité du matériau constitutif de la couche de roulement ; ce dernier n'est d'ailleurs pas constant mais, en raison du caractère viscoélastique des matériaux bitumineux, varie en fonction de la température et de la vitesse d'application de la charge. Cette "inversion de module" (que l'on rencontre rarement en section courante, par exemple, dans le cas où le matériau de base est une grave traitée) entraîne une concentration de contraintes, surtout horizontales, à la partie inférieure de la couche de roulement.

7 - Epaisseurs

Les conditions de calcul de l'ouvrage imposent des contraintes particulières à la couche de roulement :

- pour ne pas surcharger la structure porteuse, il est souhaitable de limiter le poids des couches de roulement, et par conséquent, leur épaisseur,
- à l'opposé, pour pouvoir bénéficier de l'effet répartiteur de la couche de roulement dans le calcul de la résistance au poinçonnement, on ne veut pas admettre, en général, sur les hourdis minces, des épaisseurs trop faibles.

3 Cf. STER 81, sous-dossier, E, chapitre IV et R. Chapitre III, § 1

8 - Tolérances d'exécution des ouvrages

Les cotes théoriques des extrados ne sont respectées par les constructeurs qu'avec une «imprécision» parfois de plusieurs centimètres. Lorsque celle-ci se conjugue avec la nécessité d'assurer, à la surface de la couche de roulement, un uni compatible avec le profil de la chaussée, il en résulte que l'épaisseur réelle de la couche de roulement varie fortement et est, en général, différente de celle prévue au projet !

Ceci peut, aussi, provoquer une hétérogénéité de compacité des enrobés.

9 - Conclusions.

Il résulte des différentes circonstances et conditions évoquées ci-dessus une aggravation des risques de dégradation par :

- accumulation de déformations permanentes dans la couche de roulement : orniérage, fluage, glissement, ... notamment pour les ouvrages :
 - soumis à des températures ambiantes extrêmes,
 - supportant une importante circulation de poids lourds,
 - sur lesquels se produisent des arrêts, freinages et démarrages fréquents de véhicules, notamment des poids lourds,
 - urbains dans le cas où les voies étant très étroites (< 3m), le trafic y est canalisé (voies réservées aux autobus par exemple),
 - à plus de deux voies par sens de circulation, à très fort trafic et pour lesquels les voies de droite ne reçoivent guère qu'un trafic continu de poids lourds.
- désenrobage de la couche de roulement

3.1.2.2 Les différents types de désordres sur les couches de roulement

Sur la base de ces éléments, nous allons établir un diagnostic visuel de l'état de la couche de roulement en notant que certains désordres intrinsèques au comportement d'un enrobé peuvent apparaître, sur une section de route, en premier lieu sur le pont, avant de se généraliser, un ou deux ans après, sur toute la section de route ayant la même structure et la même formulation. Ceci peut constituer une aide à la décision pour programmer des travaux sur une section.

Ce diagnostic **VISUEL** sera fait sur la base du «Catalogue de dégradations de chaussées» (référence § 2.1.8). Ce document constitue un référentiel de base indispensable pour établir un diagnostic.

Dans ce document, on distingue les différents types de désordres selon l'organigramme de la figure 10 (repris d'un schéma du catalogue).

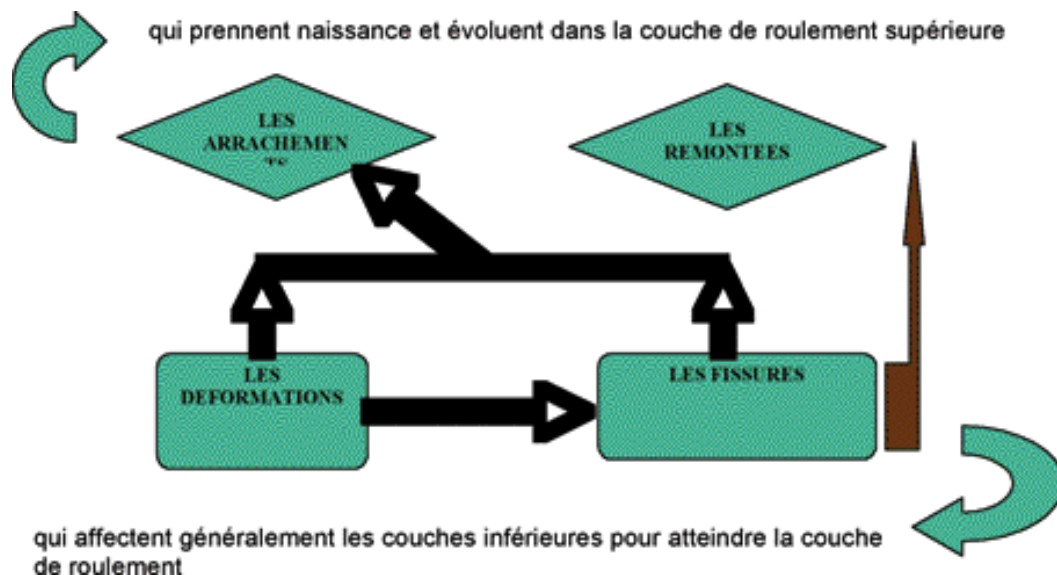


Figure 10 : organigramme relationnel des désordres observés sur une couche de chaussée en section courante

Parmi ces désordres, on va s'attacher à faire la distinction entre ceux qui résultent d'un désordre intrinsèque à la couche de roulement de ceux qui peuvent avoir pour origine (ou cause) l'étanchéité sous-jacente ou être le signe d'un grave problème de structure.

C'est l'objet du tableau de la figure 11.

Type	Nature du désordre	Cause probable quand l'étanchéité peut en être à l'origine
DEFORMATION	Affaissement	Sous dimensionnement des couches inférieures (étanchéité), ou un tassement des éléments de structure de la chaussée : reprofilage en béton de ciment, hourdis, etc.
	Bourrelet	Fréquemment le résultat d'un glissement de la couche sur l'étanchéité, le support en béton de ciment, ... Une étanchéité asphalte comportant un excès de mastic. Il peut être aussi consécutif à un glissement de la chaussée et à la butée de celle-ci sur un élément fixe (effet de la pente, zone de freinage, etc.). L'existence de déformation hémisphérique est symptomatique de la présence de gonfle soit à la mise en œuvre de l'enrobé, soit par suite de formation de gonfle à l'interface support/étanchéité. Si le trafic «écrase» la déformation, on peut observer des fissures circulaires (voir fissure).
	Empreinte	Non concernée.
	Flache	Suite à un affaissement des parties sous-jacentes à la chaussée. Si ce désordre est généralisé : relier l'observation à l'alignement et au nivellement d'autres équipements. Une visite de l'intrados de l'ouvrage s'impose.
	Orniérage de grand rayon	Non concernée.
	Orniérage de petit rayon	Une étanchéité asphalte comportant un excès de mastic. Glissement sur chape par défaut de liaison de l'interface enrobé/étanchéité.
	Soulèvement de dalles	Non concernée.
FISSURE	Tôle ondulée.	Action mécanique des véhicules, parfois liés au glissement et au bourrelet. Pose d'une étanchéité par feuilles préfabriquées transversalement au sens du trafic.
	Cassure - Epaufrure Faiçonnage à mailles fines (10 à 40 cm) à mailles larges (40 cm et au delà).	Consécutives à un glissement de l'enrobé sur son support dans le cas de pente, d'effort tangentiel, etc. - par suite de dégradation des couches sous-jacentes (reprofilage en béton de ciment ou en enrobé en mauvais état, structure, etc.). - par manque de liaison avec le support.
ARRACHEMENTS	Fissure en dent de scie, Fissure parabolique, Fissure rectiligne.	- Dégradation des couches inférieures, - retrait, - défaut d'accrochage sur le support en zone de décélération brutale, - mouvement de la structure, - suite à «écrasement» d'une gonfle (dans ce cas, les fissures sont circulaires).
	Désenrobage	Action de l'eau stagnant par défaut de drainage de la couche de roulement (Défaut souvent visible aux abords des joints mécaniques de chaussée).
	Ecaillage	Non concernée.
	Ejection ou arrachement	Non concernée.
	Glaçage	Non concernée.
	Nid de poule	Suspecter un défaut de drainage de la couche. Conséquence d'une gonfle déformée par le trafic évoluant en fissuration concentriques puis désagrégation pour finir en nid de poule.
	Pelade	Non concernée.
	Plumage	Non concernée.
	Tête de chat	Non concernée.
REMONTEES	Pneu à clou	Sans objet suite à l'interdiction de ces pneumatiques.
	Pompage	Non concernée.
	Boue verte	Non concernée.
	Eau	Par défaut de drainage de la chaussée.
	Laitance	Non concernée.
	Liant	Non concernée, sauf s'il s'agit de remontée du liant de la couche d'étanchéité.
	Mortier	Non concernée

Figure 11 : Tableau résumant les désordres observés sur une couche de roulement dont la(les) cause(s) probable(s) peut(peuvent) être reliée(s) à l'étanchéité

3.1.3 LE DIAGNOSTIC VISUEL DIRECT SUR L'ÉTANCHÉITÉ

Les éléments d'appréciation sont simples : **la présence ou non d'humidité en intrados**. Lors des visites d'ouvrages, la détection des zones humides, de stalactites, de traces de calcite,... constituent autant d'éléments qui vont faire suspecter un défaut d'étanchéité.

Par contre, la difficulté va consister à apprécier l'importance de ce défaut ponctuel et s'il a une cause localisée ou généralisée. Par exemple :

- la présence de traces humides uniquement sous les zones de trottoirs doit faire rechercher si le trottoir a bien une étanchéité et si elle est efficace,
- des venues d'eau autour d'un passage de mine sont aussi un indice de défaut de liaison de l'étanchéité à ce passage,
- l'examen du dossier d'ouvrage peut aider à rechercher des indices de défauts de liaison entre les différentes parties d'une étanchéité ou un phasage de chantier.
- etc.

Il importe de savoir que la présence de zones humides en intrados d'un tablier n'est que la concomitance de deux défauts : **au niveau de l'étanchéité + un défaut dans la structure** qui favorisent le passage de l'eau. En d'autre terme, on peut avoir des étanchéités défailtantes sur un pont sans que cela soit obligatoirement visible à court terme sous la structure.

Il va donc être nécessaire de passer à un diagnostic plus précis de l'état de la chape d'étanchéité sur un pont.

3.1.4 LES MOYENS D'INVESTIGATIONS

3.1.4.1 Sur le revêtement routier

Pour les couches de la chaussée, les moyens d'investigations seront ceux des revêtements routiers. L'accès à la surface est facile et l'on peut faire des prélèvements sur les quelques centimètres de la couche pour procéder à ces examens.

3.1.4.2 Sur l'étanchéité

Deux types d'informations sont à recueillir :

- Quel est l'état des matériaux d'étanchéité ?
- La fonction chape d'étanchéité est-elle correctement assurée ?

a) Etat des matériaux

Pour apprécier cet état, il n'y a pas d'autres solutions, à l'heure actuelle, que d'effectuer des prélèvements. Soit des parties de l'étanchéité sont facilement accessibles: trottoirs, relevés, etc., soit il faut faire des sondages. Les matériaux seront alors soumis à des essais aux fins d'analyse.

A titre d'information, en l'état actuel des connaissances, les évolutions des matériaux dans le temps sont les suivantes :

- les asphaltes conservent leur qualité pendant longtemps,
- les produits à base de résines époxydiques vieillissent assez mal avec des exsudations d'huiles ou des durcissements,
- les feuilles à base de bitume oxydé ont une moins bonne tenue dans le temps que les feuilles à base de bitume modifié par des polymères. Les constats de sinistres dans le bâtiment montrant une nette tendance à la baisse depuis le début du développement de l'emploi des feuilles à bitume modifié par des polymères sont éloquents sur ce point.

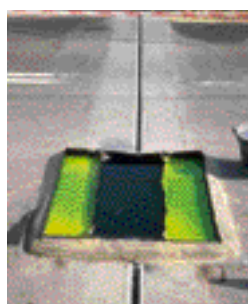
b) Efficacité des chapes

Les techniques qui vont permettre d'apprécier l'efficacité d'une chape vont aussi aider à préciser les points de passage de l'eau car s'il est aisé de voir où l'eau débouche, la connaissance du point de passage constitue une recherche ardue.

La première méthode couramment utilisée en bâtiment consiste à couvrir la surface par une pellicule d'eau. Ensuite, au droit de la zone de passage de l'eau, on met en place une cloche dans laquelle on envoie de l'air sous faible pression (pour ne pas soulever la chape et le revêtement !). Il suffit alors d'observer l'émergence des bulles, comme pour détecter une fuite dans une chambre à air d'un pneu (cf. Bulletin de liaison des P & C, n° 68 de 11/73, repris dans le guide STER 81, sous-dossier E, page 25 [référence : § 2.1.2]). La seule sujétion est de disposer d'un ouvrage relativement plat, ce qui n'est pas toujours le cas !

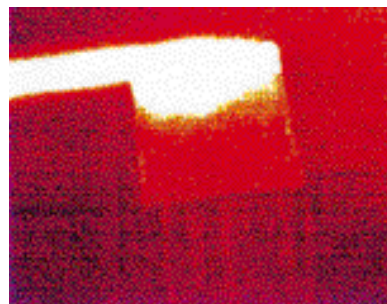
Une autre méthode est basée sur l'utilisation de l'eau colorée. Elle est intéressante si on suspecte une zone particulière d'être le point de passage de l'eau (figure 12a).

Les autres méthodes sont plus générales et essaient de traiter toute la surface de l'étanchéité. Elles restent encore en cours de développement. Cependant, on fonde de sérieux espoirs sur la technique utilisant les caméras à détection infrarouges (figure 12b). Le principe est le suivant : le soleil réchauffe la surface et, à chaque niveau, on aura une courbe de variation de température en fonction du temps.



a) par l'eau colorée

Crédit photo SETRA/CTOA



b) Mise en évidence d'un défaut sous une chape par feuilles préfabriquées bitumineuses par la thermographie infrarouge

Crédit photo LRPC Autun

Figure 12 : méthodes de détection de fuites.

Un défaut est un "isolant" ou une zone de variation de la température : au dessus d'un défaut, on aura soit plus chaud (le jour), soit plus froid (la nuit). Pour plus d'informations, voir sous la référence du § 2.1.10, l'article intitulé «Le contrôle non destructif de réception des chapes d'étanchéité des ponts routiers par thermographie infrarouge».

La mesure est faite en un seul passage sur toute la largeur de l'ouvrage, sous trafic. L'image doit ensuite être traitée par un spécialiste.

3.1.5 LES RECUEILS D'INFORMATIONS

3.1.5.1 L'étude d'une réfection

a) Importance de l'étude.

Que ce soit pour une opération de rabotage ou bien pour une réfection complète du complexe, ces travaux doivent faire l'objet d'une étude la plus complète possible avant le lancement d'un dossier de consultation.

> Il convient de recueillir le maximum d'informations sur :

- ce que l'on trouvera lors de l'enlèvement,
- les moyens disponibles de dépose des matériaux,
- les solutions à mettre au point, en particulier au droit des points singuliers.

Une étude insuffisante peut conduire à un travail incomplet, donc inefficace, à des improvisations sur chantier fort probablement préjudiciables à la qualité du travail, à des dépassements de coûts et à des retards dans la durée des travaux (donc de la gêne aux usagers).

L'entreprise qui aura la charge de ces travaux doit disposer de ces informations lors de la remise de son offre et pour l'exécution des travaux de reprise de l'étanchéité.

b) Le dossier de l'ouvrage.

Au départ, il y a lieu de procéder à l'examen du dossier de l'ouvrage, C'est l'une des principales difficultés rencontrées, car il est fréquent que les dossiers soient ou égarés ou incomplets ou, le plus souvent, non conformes à l'exécution.

La première tâche à accomplir est donc de **vérifier la conformité des plans avec ce que l'on a sur place.**

Pour des ouvrages relativement anciens, il faudra rechercher les réparations précédentes, les modifications éventuelles apportées à la structure, les destructions partielles pour faits de guerre, etc.

Ainsi, le hourdis d'un ouvrage, traversé par des bombes qui n'avaient provoqué que des destructions ponctuelles, avait été réparé en reconstituant le hourdis mais aussi le renformis en béton sans introduire la reprise de bétonnage antérieure entre le hourdis et le renformis. On imagine aisément les difficultés qui peuvent survenir lors d'opérations de réfection de chaussées quand ce point a été méconnu lors de l'établissement du Dossier de Consultation des Entreprises.

c) Visite de l'ouvrage - Sondage.

> L'étape suivante consiste à aller sur l'ouvrage afin :

- d'évaluer l'ampleur des désordres,
- de délimiter les parties susceptibles de présenter des sujétions particulières. Cette visite pourra être complétée par des investigations plus complètes comme :
 - des sondages par carottage(s) ou prélèvement(s) jusqu'au béton du tablier. On aura ainsi une meilleure connaissance des couches, leur épaisseur, leur nature, etc.
 - des mesures de la vitesse du son, de la densité, etc. qui donnent d'utiles informations sur les difficultés d'enlèvement.

Ces investigations seront les plus nombreuses possibles dans la limite des moyens disponibles.

d) Le Dossier de Consultation des Entreprises (DCE)

> C'est au stade du DCE que sont définis :

- les conditions d'enlèvement des matériaux : méthode ou éléments d'appréciation sur la difficulté d'enlèvement (vitesse du son par exemple),
- la préparation du support et/ou l'état du support en fonction de l'étanchéité,
- la prise en compte de la présence d'un renformis en béton de ciment (formule de béton, épaisseur, liaison avec le tablier, ...) ou d'une couche de reprofilage,
- l'étanchéité,
- les dessins aux bords,
- la couche de roulement.

Dans la plupart des cas, sur la base d'un DCE complet, l'entreprise pourra proposer une ou des variantes. C'est en se basant sur un dossier de base de qualité que l'on pourra pointer si aucun détail n'a été oublié.

3.1.5.2 Cas particulier de la contre-chape béton ou le renformis : sa détection.

En général, le problème consiste à s'assurer de la présence de cette contre chape ou de ce renformis, d'où l'intérêt des sondages. Ainsi la présence, lors d'un sondage, d'un béton, même de qualité, immédiatement sous la couche de roulement doit faire suspecter la présence d'une contre-chape en béton (surtout si, dans le marché de l'ouvrage neuf, il avait été prévu et payé une étanchéité !).

Un moyen indirect consiste à comparer les épaisseurs mesurées lors du sondage avec les hauteurs vues des corniches, trottoirs, hourdis, ...

Le renformis sous la chape est plus délicat à détecter et seules les mesures de vitesse de son ou de densité permettent d'apprécier son existence et parfois sa qualité.

Voir, plus particulièrement, le guide LCPC sur la réparation des étanchéités sur renformis (référence § 2.1.9).

3.1.6

CAS PARTICULIER DES ÉTANCHÉITÉS DES PONTS RAILS

Ici, il n'y a pas, sur l'étanchéité, de couche de roulement mais un ballast. Les prescriptions ci-avant concernant les étanchéités des ponts routes et en particulier celles des chapitres 3.1.3 et 3.1.4 restent applicables pour les ponts rails.

Cependant, du fait de la présence du ballast et des exigences relatives au maintien du trafic des trains, les sondages seront rendus plus délicats que sous un enrobé routier. C'est pourquoi le gestionnaire profite des opérations régulières de remplacement du ballast pour accéder directement à la surface de l'étanchéité et procéder à son examen direct en vue d'établir un diagnostic.

Les articles II.2 et II.3 des Recommandations rédigées par l'AFTES (référence : § 2.2.6) donnent les méthodes de détection et/ou de mise en évidence des désordres ainsi que la méthodologie de classification.

Le lecteur est invité à consulter ce guide sous la référence 2.2.6.

3.3.1 PRINCIPES GÉNÉRAUX ET OBJECTIFS DE L'ENTRETIEN

Avant d'aborder le diagnostic, il est important de noter l'importance de l'entretien efficace et durable de ces ouvrages afin de garantir leur bon fonctionnement.

Les DEG sont des ouvrages relativement fragiles, soumis à la pollution, aux effets de la végétation, aux mouvements des sols et aussi aux effets du vieillissement des matériaux constitutifs. Ces opérations d'entretien courant, à la charge du gestionnaire, ont pour objet le maintien de la fonctionnalité de l'ouvrage et la pérennité du dispositif d'étanchéité.

A cette occasion, on ne manquera pas de souligner l'importance de l'accessibilité car il existe trop d'ouvrages inadaptés à l'exploitation du fait d'erreur de conception du DEG.

> **Les opérations liées à l'exploitation/entretien sont :**

- les visites de contrôle,
- l'entretien de l'ouvrage : courant (visite, fauchage) et peu courant (curage),
- les interventions en cas de pollution accidentelle.

> **Elles visent à :**

- garantir le fonctionnement de chaque partie du bassin,
- surveiller la continuité de la structure d'étanchéité afin que l'ouvrage puisse, en particulier, assurer sa fonction de rétention de flux polluant,
- augmenter la durée de vie de l'ouvrage et du DEG.

3.3.2 LES VISITES DE CONTRÔLE

Ces visites auront une **périodicité conseillée d'une fois par trimestre** afin que l'exploitant puisse apprécier son évolution et contrôler son bon état de fonctionnement. Bien évidemment, cette visite porte sur l'ensemble de l'ouvrage et non uniquement sur la partie étanchéité.

> **A l'occasion de cette visite, on se posera les questions suivantes :**

a) **Existe-t-il des signes extérieurs d'altération de la géomembrane elle-même ?**

- état physique de la géomembrane en partie courante (micro-fissuration),
- fissuration en partie courante ou près des soudures,
- altérations ponctuelles (poinçonnements) induites par le support,
- altérations ponctuelles (poinçonnement, déchirements) liées à des opérations d'entretien ou autres,
- déchirures et/ou décollements au droit des raccordements aux ouvrages en béton (figure 14b).

b) Existe-t-il des éléments dangereux à terme pour le DEG ?

- instabilité de la couche de protection en talus*,
- dégradation de la protection en fond*,
- stabilité douteuse des crêtes de talus et de la tranchée d'ancrage (figure 14c),
- développements anormaux de végétation en fond ou sur les tranchées d'ancrage (arbustes),
- stabilité douteuse du support près des raccordements aux ouvrages en béton (figure 14b),
- tension anormale de la géomembrane, en particulier sur les talus et au raccordement fond/talus.

* quand il y en a une car, trop souvent, cette protection est inexistante !

3.3.3 EVALUATION DE L'ÉTANCHÉITÉ

Cette évaluation peut être rendue plus ardue si le DEG comporte une protection (à noter, cependant, qu'environ les deux-tiers des ouvrages n'ont pas de protection, ce qui, bien que favorable pour vérifier l'intégrité de la surface de la géomembrane, présente l'inconvénient de risque d'atteinte à la géomembrane) ou est sous l'eau ou sous des matériaux de stockage.

Sauf évidence comme une déchirure, d'où l'importance d'une reconnaissance visuelle approfondie portant sur l'examen en surface, il peut être intéressant de savoir si celui-ci est étanche ou non, par exemple dans le cas de DEG non accessible.

C'est, en effet, le principal critère, sinon unique, qu'il convient de vérifier, puisque, comme il a été indiqué au point «c» de l'introduction, le but de ces procédés d'étanchéité est d'empêcher le passage d'un liquide d'un côté vers l'autre de la barrière constituée par le DEG.

Cette perte d'étanchéité va avoir des conséquences tant sur le comportement de la couche support avec les éventuelles réactions sur les matériaux constitutifs de cette couche que des désordres par création de poches de liquide ou par dispersion de polluant dans le sol.

La perte d'étanchéité peut provenir d'une augmentation de la perméabilité intrinsèque de la géomembrane par vieillissement. Ce phénomène est peu probable, tout au moins pendant la période de garantie (10 ans), compte tenu de l'expérience acquise et des exigences d'étanchéité requises d'un niveau modeste.

Cette perte d'étanchéité est, par contre, plus fréquente, par exemple à la suite d'une perte de continuité de la géomembrane ou de l'arrachement de ses fixations : fissures, déchirements, perforations survenant tant du fait du vieillissement que des contraintes de service et d'exploitation.

Dans ce contexte, la mesure du débit de fuite peut constituer un élément essentiel de l'estimation du risque vis-à-vis de la stabilité mécanique de l'ouvrage. C'est pourquoi, il importe, pour certains ouvrages à risques (barrages, canaux en remblai, réservoirs de stockage de produits dangereux, ...)⁴, de prévoir, lors de la conception, des dispositifs d'auscultation et de surveillance par piézomètres, mesure de débit de fuite, etc. (cf. § 3.7 du guide référencé au § 2.3.1).

⁴ On notera qu'il s'agit, en général, d'ouvrages ne relevant pas du présent document.

Pour disposer d'une échelle de référence, on peut se référer à l'article 3.8 de la norme NF EN 1504-5 (référence : § 2.3.4) qui propose un classement pour apprécier les niveaux de débit des venues d'eau.

Outre cette mesure des débits, il est important de recueillir des indications sur l'origine des liquides en effectuant des mesures de température et de conductivité ainsi que des analyses chimiques⁵.

Sur les techniques de diagnostic, leur adaptation au contexte du DEG de l'ouvrage concerné, leur modalité d'application, leur degré de fiabilité, etc., le document : "Détection de fuites dans les dispositifs d'étanchéité par géosynthétiques" (référence : § 2.3.2) détaille les différentes techniques permettant de diagnostiquer une fuite dans un DEG et ainsi pouvoir mettre en évidence des venues d'eau éventuelles sur les étanchéités de ce type.

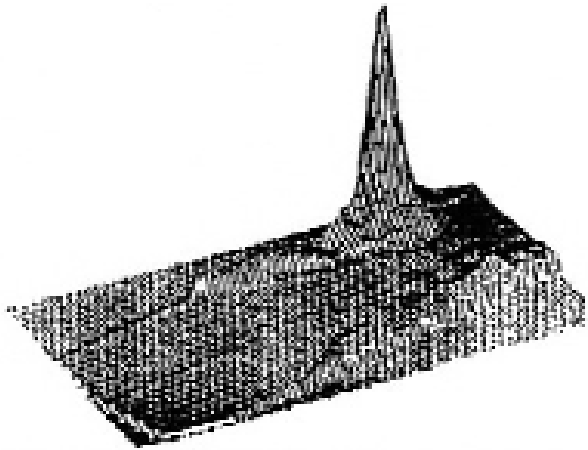


Figure 13 : graphe d'une anomalie électrique constatée sur une décharge donnant la localisation de la zone probable de passage de l'eau.

Une illustration (parmi de nombreuses autres) des résultats que l'on peut obtenir avec ces techniques est donnée sur la figure 13.

La référence citée au § 2.3.3, Guide complémentaire (§ 3.2 et 3.3), donne aussi les méthodes d'évaluation de l'étanchéité globale en détaillant les mesures envisageables des débits de fuite et un système électrique de détection et de localisation de ces fuites.

⁵ Le document référencé au § 2.2.2 peut être utile pour établir un programme d'analyse.

3.3.4 LES FAMILLES DE DÉSORDRES OU DE PATHOLOGIES

> Afin de pouvoir valablement établir un programme de réparation et choisir la technique de reprise adaptée, il importe de bien connaître la cause du défaut d'étanchéité. On peut, sommairement, distinguer, les principales familles de désordres comme suit :

a) Problème de vieillissement des matériaux (figure 14a)

Les géomembranes à base de PVC-P, par exemple, peuvent présenter une dégradation de leurs caractéristiques par vieillissement aux UV allant jusqu'à la rupture. Celles à base de bitume peuvent se rompre par fragilité, plus particulièrement les géomembranes en bitume oxydé ou celles en bitume élastomère comportant une armature en voile de verre. A signaler la nette sensibilité des membranes à base de PEHD au phénomène de «stress cracking».

b) Conséquences d'erreurs de conception

Ce sont les désordres :

- consécutifs à des actions chimiques par les liquides au-dessus (ou au-dessous) sur la géomembrane dont le matériau n'est pas adapté à cette action,
- par défaut de stabilité du remblai supportant le DEG, par pente non-conforme compte tenu de la nature du sol support,
- par déformation, au-delà de l'admissible pour le matériau constitutif du DEG, par gonflement de sols gonflants (à base d'argile, par exemple) ou de gaz de fermentation du sol support (figure 14d). Il faut voir, dans ce cas, la conséquence d'un défaut de conception du support,
- par poinçonnement du DEG par la couche support par mauvais choix de matériaux de celle-ci,
- par non prise en compte de la dilatation (surtout sensible pour les matériaux à base de PEHD ou de PVC-P).

c) Par effets d'érosion, d'usure biologiques comme :

- usure ou érosion par batillage, blocs de glace, objets transportés, courants, etc.
- actions de la végétation, de certains animaux, ...

Ce type de défaut pourrait, aussi, être considéré de conception car on aurait dû prévoir les dispositions évitant ces effets.

d) Suite à des défauts de drainage

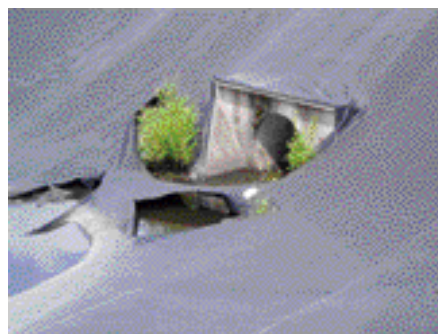
e) Conséquences d'une exécution mal conduite

> On trouve, ici, les désordres consécutifs à :

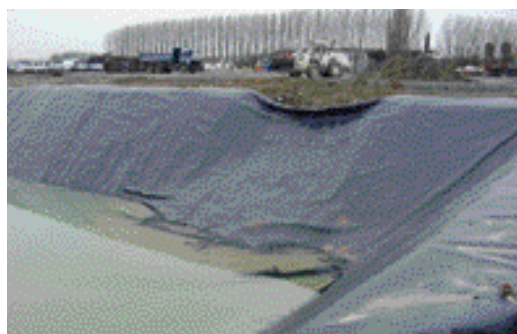
- des défauts de réalisation des soudures, par exemple au niveau de la jonction entre lés,
- une rupture d'ancrage (figure 14c) ou des désordres aux jonctions avec les ouvrages annexes (figure 14b), qui sont toujours des points délicats et difficiles à bien traiter tant au niveau de la conception qu'à l'exécution, ou par suite de tassement différentiel entre la section courante et l'ouvrage dont les fondations sont plus conséquentes,
- un poinçonnement par la circulation de chantier.



a) Déchirure par vieillissement du matériau



b) Défaut de jonction à un ouvrage béton



c) Effondrement de talus



d) Gonfles par gaz de fermentation du sol support

Figure 14 - Crédit photos B. Steiner. Icopal

On notera que la distinction entre ces familles de désordres est un peu artificielle et, bien souvent, c'est à la suite d'une mauvaise conception que l'exécution ou l'action biologique, ou la mauvaise tenue aux jonctions avec les ouvrages annexes, ... a pu entraîner la perte d'étanchéité. C'est bien au stade de la conception que l'on doit prendre en compte les divers éléments pour aboutir à un ouvrage de qualité. Le document cité au § 2.3.2 insiste bien sur ces points.

3.3.5 DIAGNOSTIC SUITE À UN CAS D'ÉPISODE DE POLLUTION ACCIDENTELLE

Dans certains cas extrêmes, un polluant d'une nature chimique donnée peut détruire localement une structure d'étanchéité d'un type donné et atteindre le milieu naturel ; ceci sera fonction de la nature du produit polluant, de sa concentration, de la nature chimique de la géomembrane et donc de sa résistance chimique et, surtout, de la **durée** de contact entre le polluant et la géomembrane (et éventuellement de la température).

> **A la suite de cet épisode, dont le traitement n'est pas le sujet de ce document, le gestionnaire doit envisager les situations suivantes :**

a) La structure d'étanchéité a rempli sa mission de rétention du polluant mais il est visible qu'elle est physiquement altérée : quasi-percement, fort ramollissement de la géomembrane ou du produit de collage des joints ...

Il convient d'inventorier les dégâts, généralement avec l'aide d'un spécialiste, et définir les zones dégradées ; cet examen peut s'avérer difficile si le DEG comporte une structure de protection ; on procédera alors par sondage sur les zones a priori les plus affectées.

b) La structure d'étanchéité n'a apparemment aucun dégât ; elle semble donc apte à continuer à assurer sa fonction de rétention.

L'examen par un spécialiste est cependant nécessaire pour déterminer si l'épisode n'a pas altéré la composition chimique ou physico-chimique de la géomembrane, induisant de ce fait **une réduction possible de sa durée de vie** (par exemple, la déplastification partielle d'une géomembrane PVC-P en contact prolongé avec de l'essence qui peut induire une forte fragilisation en service à basse température ou une solvatisation du PEHD).

Si cette altération est avérée, on est donc bien en présence d'un dommage pouvant être, certes, difficile à évaluer mais qui est à régler dans le cadre général du sinistre, d'autant plus, si cet incident se produit durant la période de garantie, que ceci peut amener l'entreprise qui a réalisé le DEG à suspendre tout ou partie de ses garanties sur la totalité ou non de l'ouvrage.

Après l'examen de la structure d'étanchéité, il convient d'examiner d'éventuelles dégradations d'autres composants du DEG, par exemple les géotextiles et/ou les géocomposites de drainage.

4

Les opérations de réparation. Choix des produits et des matériaux

4.1 Cas des étanchéités des ponts routes

4.2 Cas des étanchéités des tunnels et autres ouvrages souterrains similaires

4.3 Cas des étanchéités de bassins à base de DEG

4.1.1

GÉNÉRALITÉS SUR LES OPÉRATIONS D'ENTRETIEN (COURANT OU SPÉCIALISÉ)

Elles se limitent aux remises en état des relevés d'étanchéité, voire des protections des relevés qui tombent ou sont détériorés par le trafic ou par des coups de lames de chasse-neige. Si le relevé est de type protégé par un mortier de ciment, sa réparation fait intervenir des matériaux à base de ciment en appliquant les prescriptions formulées dans le guide FABEM N°1 (voir référence au § 2.1.11).

Si l'étanchéité est apparente dans la zone du relevé et que c'est cette couche qui nécessite une intervention, on appliquera les conseils proposés dans le § 4.1.2 ci-après.

4.1.2

LA RÉPARATION D'UNE CHAPE D'ÉTANCHÉITÉ

> On peut avoir à intervenir pour la réparation d'une chape d'étanchéité dans les situations suivantes.

4.1.2.1 La couche de roulement sus-jacente nécessite une reprise sur toute l'épaisseur

Ceci implique qu'on ne peut pas se limiter à une couche de surface de quelques centimètres.

La dépose de toute les couches jusqu'au support en béton de l'étanchéité constitue une opération de réfection lourde qui ne s'apparente pas véritablement à une «réparation» au sens de ce document.

A noter qu'il est, en pratique, utopique de penser pouvoir déposer une couche de roulement sans toucher à la chape d'étanchéité. Si cela se pratique parfois, il faut bien considérer que c'est peu conseillé. En effet, l'enlèvement des couches provoque des effets sur la chape d'étanchéité (griffures, efforts de cisaillement, etc.) et, en outre, il paraît intéressant de profiter de cette intervention lourde pour repartir pour une nouvelle période de vie de l'ouvrage avec une étanchéité remise à neuf.

Pour l'étanchéité, il importe que le support soit adapté pour recevoir la nouvelle chape d'étanchéité prévue par le Maître d'œuvre. L'article 9.3 du fascicule 67-1 (référence au § 2.1.1), notamment les commentaires, propose les précautions réglementaires et le processus pour aboutir à un résultat acceptable⁶.

En complément, le sous-dossier «Réfection des étanchéités et des couches de roulement des tabliers d'ouvrages d'art» du guide technique STER 81 (voir référence au § 2.1.2) donne des conseils pour assurer un enlèvement correct des couches de chaussée au-dessus d'un support en béton de ciment.

⁶ Il existe, aussi, le cas de support en très mauvais état par suite de problème de structure (fluage de travées isos-tatiques, construction par phasage transversal, etc.) qui devra être identifié lors de l'examen du dossier d'ouvrage afin d'adapter la technique à ce contexte «chahuté».

En particulier, pour minimiser les dégradations sur le support en béton, il est fortement conseillé de procéder selon le passage indiqué sur la figure 15.

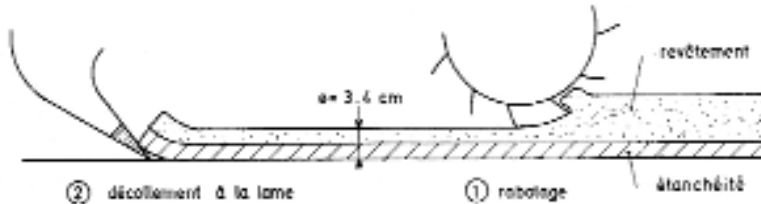


Figure 15 : les deux étapes à respecter pour un enlèvement d'un complexe étanchéité/roulement permettant d'éviter une dégradation du support en béton. Document SETRA.
(Extrait du guide technique STERB1 - fascicule «réfection», page 17)

A l'exception de l'enlèvement des couches et de la remise en état du support, la mise en œuvre d'une nouvelle chape d'étanchéité est exécutée comme sur un ouvrage neuf.

Sur l'adaptation à un état du support médiocre, on notera l'intérêt des systèmes «d'étanchéité inverse» quand la qualité de l'état de surface n'autorise pas la mise en œuvre adaptée d'une chape sans une préparation du support longue et coûteuse. Ce système consiste en une couche de micro-enrobé de quelques centimètres (2 à 3 cm) qui va servir de support à la chape⁷, en général une feuille préfabriquée bitumineuse (mais sans primaire pour ne pas provoquer une dissolution du bitume de surface de la couche de micro-enrobé par les solvants du primaire) ; mais des bicouches ou des monocouches asphalte ont aussi été mises en œuvre avec succès.

En outre, cette technique permet de redonner, en partie, des formes de pente à l'ouvrage. Néanmoins, un enrobé (ou un micro enrobé) ayant un certain pourcentage de vides n'est pas considéré étanche ; c'est pourquoi les points singuliers (relevés, gargouilles ...) doivent être traités avec une très grande attention pour éviter la circulation de l'eau sous l'étanchéité en cas de fuite (par perforation). Une précaution consiste, par exemple, à créer des zones adhérentes au support pour limiter les circulations éventuelles, en particulier en rive (figure 16). D'autre part, la formulation de ce micro enrobé (ou enrobé) devra être faite en privilégiant uniquement la tenue à l'orniérage.

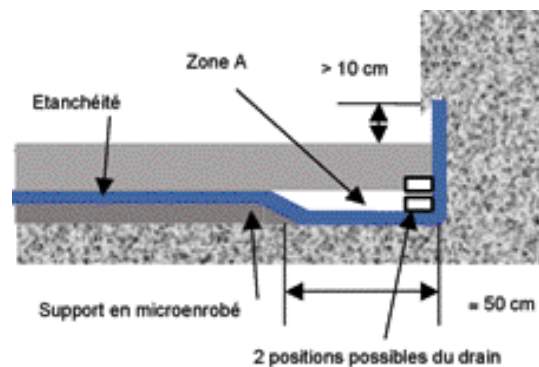


Figure 16 : Principe du traitement en rive d'un «système inverse» pour éviter un contournement de l'étanchéité et une contamination de l'enrobé support de chape. La zone A peut être remplie par un matériau plein type asphalte gravillonné (dans ce cas, le drain est au-dessus de ce remplissage) ou par un enrobé qui devra être parfaitement drainé.

⁷ Cette couche, au lieu d'assurer la protection de l'étanchéité, devient support sous la chape, d'où le nom de «système d'étanchéité inverse».

4.1.2.2 Les défauts de l'étanchéité de l'ouvrage apparaissent limités et bien identifiés

> Auquel cas, il est possible d'envisager une réparation ponctuelle et locale. Ce peut être, aussi, le cas lors :

- de dépose des couches de chaussées et d'étanchéité pour une réparation localisée de structure,
- de travaux par phase,
- d'intervention de reprise selon le cas cité au 1^{er} alinéa, mais sans reprendre toute la surface de l'ouvrage, en laissant en place certaines zones (en TPC, par exemple) pour des raisons économiques et parce que l'état des couches ne justifie pas une intervention,
- etc.

Les différentes techniques de réparations ou de jonction entre différents types d'étanchéité ainsi que les traitements des relevés, le tout en fonction de la famille d'étanchéité citée au § 1.1.2, font l'objet d'un guide technique spécifique publié par le SETRA : STER 81. Mise à jour n° 2, dont la référence est donnée au § 2.1.2.

Le lecteur est invité à consulter ce guide dont le sommaire est donné en annexe 1.

Chaque technique d'étanchéité a sa particularité, ses avantages et ses faiblesses. Hormis les questions de délais, qui ont, bien sûr, une importance très grande compte tenu des enjeux économiques, il est impératif de se souvenir que la finalité est d'assurer la meilleure étanchéité possible, adaptée aux critères de l'ouvrage et devant durer un maximum de temps.

Soulignons que le document cité sous la référence 2.1.2 comporte de nombreux conseils pour le traitement des points singuliers. En effet, il faut rappeler que les problèmes d'étanchéité apparaissent pour plus de 90% au niveau des points singuliers (avaloirs, raccordement aux joints de chaussée, relevés ...), souvent négligés en conception ou lors de la première mise en œuvre, et qu'une réalisation correcte sur ces points lors de la réfection est incontestablement le seul garant du succès de l'étanchéité du tablier.

4.1.2.3 Le traitement de l'étanchéité entre deux structures accolées

Bien que peu courant, il nous a semblé utile de donner quelques conseils sur ce sujet. Le choix de la solution technique va dépendre, en premier lieu, de l'amplitude et la direction des mouvements attendus entre les deux lèvres en vis-à-vis mais, aussi, de la présence ou non de circulation juste au-dessus de cette jonction. Pour fixer un ordre de grandeur de la valeur admissible, qui sera à préciser en fonction du contexte de l'ouvrage, on peut indiquer que dans le cas de mouvements de moins de l'ordre de 0,5 mm aussi bien en ouverture/fermeture que

de cisaillement ou de battement vertical, une solution de type continuité de l'étanchéité avec un joint lyre dans une réservation en V constitue une disposition tout-à-fait acceptable et adaptée. La géométrie de cet aménagement reprendra ce qui est indiqué pour un joint sous revêtement de type III (voir avis technique SETRA correspondant. Référence au § 2.1.2 dans le guide FAEQ 3 «Joints de dilatation»).

Au-delà, sauf cas spécifique, les solutions sont de type «joints de chaussée» et le choix de la technique la mieux adaptée pourra utilement s'inspirer de ce qui est proposé dans l'article «traitement d'un joint longitudinal entre deux structures accolées» paru dans le bulletin Ouvrage d'art publié par le SETRA/CTOA, N° 33 de Décembre 1999.

Nota : le traitement des étanchéités sur les ponts maçonnerie (en particulier l'exécution de relevés) fait l'objet du guide FABEM n° 6 (en cours de rédaction au moment de l'édition du présent guide).

4.1.3 CAS PARTICULIER DES ÉTANCHÉITÉS DES PONTS RAILS

Comme les ouvrages routiers, les ponts rails sont soumis à des inspections suivant une périodicité et des conditions définies dans les documents spécifiques au gestionnaire.

Lors de ces visites, il n'est pas possible d'inspecter directement l'étanchéité : en effet, il n'est pas question de la mettre à nu, car cela imposerait la dépose de la voie et du ballast à chaque visite d'ouvrage ! C'est pourquoi, comme sur les ponts routiers, le visiteur se limite à constater visuellement, par-dessous, les fuites lorsqu'elles existent et les zones où l'étanchéité est visible (en rive, par exemple).

Bien que les contraintes de trafic soient encore plus fortes que sur les ponts routes, le dégagement du dessus d'une chape d'étanchéité reste possible sans altérer en quoi que ce soit la couche d'étanchéité. En effet, lors d'intervention périodique de réfection de la voie et, donc, du ballast, on est conduit à dégager la surface supérieure de l'étanchéité et, partant, de procéder à toute intervention de réparation localisée qui s'avèrerait nécessaire.

Ces opérations de réparation ne sont pas, fondamentalement, différentes de ce qui est fait sur les étanchéités des ponts routes, puisqu'il s'agit de matériaux identiques ou de procédés similaires (voir ce qui a été dit au § 1.1.5 sur les procédés des ponts rails).

L'article III : «Produits et solutions techniques possibles» des Recommandations rédigées par l'AFTES donne les différentes techniques de réparations en fonction de la famille d'étanchéité citée au § 1.2. Le lecteur est invité à consulter ce guide sous la référence du § 2.2.6.

Certes, ce document s'adresse plus aux maîtres d'œuvre qu'aux entreprises mais le groupe de travail était suffisamment représentatif de l'ensemble de la profession, donc d'entrepreneurs, pour qu'il puisse être utile aux entreprises en charge de travaux de réparations.

La technique de réparation sera fonction de la nature du type de désordre (cf. § 3.3) et des contraintes de maintien de l'exploitation de l'ouvrage pendant les travaux.

> **Les réparations peuvent être de trois types :**

- traitement provisoire : il s'agit de bloquer l'infiltration ;
- traitement surfacique « pérenne » ;
- traitement structurel « pérenne ».

Dans tous les cas, il convient de veiller à la compatibilité environnementale des dispositifs employés et au maintien des performances (notamment mécaniques) de l'ouvrage.

D'un point de vue technique de réparation, celle-ci ne comporte pas de particularités par rapport à la mise en œuvre du DEG initial.

> **Les opérations peuvent se décomposer comme suit :**

a) **Mise hors d'eau de la zone à reprendre.**

b) **Dégagement de la structure d'étanchéité du DEG**, avec dépose de la protection provisoire éventuelle.

c) **Pose d'une nouvelle structure.** Au niveau de la géomembrane, on procédera à un raccordement adapté au type de matériau constitutif de la géomembrane comme s'il s'agissait d'une jonction au droit d'un raccordement entre lés lors de la pose initiale. Cette opération consiste en un soudage au chalumeau pour les produits bitumineux ou à l'aide d'appareils électriques type Leister pour les géomembranes en PVC, en PP ou en PEHD, collage pour les géomembranes en EPDM (le terme peu correct techniquement de «vulcanisation à froid» est parfois utilisé).

Dans le cas d'une réparation ponctuelle, l'opération de soudage sera faite conformément aux principes définis par le guide de pose du produit utilisé mais, **point important, on effectuera le soudage sur la face inférieure de la géomembrane en place qui est restée protégée et donc non altérée par le rayonnement, les produits retenus, etc.** Il faut noter que cette opération est plus aisée avec une géomembrane bitumineuse.

d) **Reconstitution de l'éventuelle structure de protection.** Dans le cas d'une absence de protection, il faut s'interroger sur l'intérêt d'en prévoir une à cette occasion.

Pour toutes ces opérations, les conditions de mise en œuvre seront celles définies dans le guide de pose du procédé utilisé : en particulier, la température ambiante minimale de mise en œuvre, les conditions de pluie, de vitesse du vent, etc.

Dans le cas d'une loupe de glissement sur un talus, il faut se poser la question de la conformité de la disposition en place. Il est déconseillé de réparer à l'identique si les pentes du talus ne sont pas conformes eu égard à la nature du sol support. La réfection sera identique à la mise en œuvre d'un ouvrage neuf. De même, s'il s'agit d'une rupture d'ancrage en tête de talus, on procédera à un nouvel ancrage conforme aux règles telles que définies dans les différents guides de conception (voir la figure 9).

Si la cause de la fuite est liée à un problème de qualité du fond de forme ou de la structure support éventuelle (tassement, poinçonnement, fermentation [figure 14d]...) celle-ci sera reprise pour la mettre en conformité avec les dispositions prévues pour ce DEG. Par exemple en procédant à la purge du sol de mauvaise qualité, en réalisant le drainage qui n'avait, probablement, pas été effectué et en posant une nouvelle structure de DEG.

Dans le cas de départ des matériaux des couches sous la structure d'étanchéité, on peut envisager d'effectuer des injections de coulis de ciment. Bien entendu, les zones de traversées des pipes d'injection seront réparées !

A l'occasion de ces interventions de réparation, on en profitera pour apporter les améliorations qui s'avèreraient nécessaires : ajout d'une structure de protection en zone suburbaine (pour éviter le vandalisme), renforcement de la stabilité du support près des ouvrages en béton (béton ou grave-ciment), protection des zones vulnérables lors des opérations d'entretien, accessibilité, etc.

5

Essais et contrôles

5.0 Généralités

5.1 Cas des étanchéités des ponts routes et des ponts rails

5.2 Cas des étanchéités des tunnels et autres ouvrages souterrains similaires

5.3 Cas des étanchéités de bassins à base de DEG

Voir le guide FAEQ 1.

5.1.1 L'ÉTAT DE SURFACE

Le fait de mettre en œuvre une chape d'étanchéité sur un support ancien nécessite un état des lieux préalable, car ce béton support peut, soit avoir subi des dégradations lors de la dépose des couches existantes, soit comporter des dégradations consécutives à une altération du béton. Compte tenu de l'importance de la rapidité (pour ne pas prolonger une fermeture de l'ouvrage au trafic provoquant une gêne à l'utilisateur), on retrouve ici le grand intérêt d'une évaluation préalable, dans le cadre de l'étude décrite au § 3.1.5.1, de cet aspect «état du béton».

Si la rapidité dans l'exécution demeure importante, la qualité du support qui recevra l'étanchéité est tout aussi importante et peut conditionner le choix de la technique.

Préparer un support suppose le nettoyage, le décapage voire le grenailage ou le ragréage, ce qui, en fonction du niveau de qualité obtenue, orientera le choix vers telle technique d'étanchéité en lieu et place d'une autre.

D'où l'importance de la réception de cet état de surface, en conformité avec le Fascicule 67-1, article 9. Celle-ci est effectuée en référence aux plaquettes étalons (voir référence au § 2.1.12) et à la procédure de réception de la texture de surface d'un pont route à support d'étanchéité en béton de ciment.

> A la suite de cette réception, on aura les deux situations suivantes :

a) Le support est estimé conforme aux prescriptions tant du F 67-1 que du STER 81, s/s dossier ST. Dans ce cas, après réception et préparation de surface minimale et normale (art 9.2 du F 67-1), l'étanchéité est mise en œuvre conformément au guide de pose du procédé.

b) Le support est considéré non conforme et nécessite une reprise de la surface, selon un procédé soumis à l'agrément du Maître d'œuvre.

Familles d'étanchéité	HS (ou PMT) mesurée selon NF EN 13036-1	Cohésion du béton de surface
Asphalte bicouche ou monocouche	≤ 1,5 mm	Sans objet
Feuille préfabriquée bitumineuse monocouche ou avec protection asphalte	≤ 1 mm	Sans objet
Système d'étanchéité liquide	Texture de 0,3 à 1,5 mm mesurée suivant EN 1766, § 7.2 < 1 mm *	> 1,5 N/mm ² **
Procédé MHC	Souhaitable : ≤ 1,5 mm mais des valeurs plus médiocres peuvent être admises	Sans objet
«Système inverse» (Voir § 4.1.2 a)	Souhaitable : ≤ 1,5 mm mais des valeurs plus médiocres peuvent être admises	Sans objet

HS : Hauteur au Sable, notion remplacée par la PMT : profondeur Moyenne de Texture

* Valeurs conformément aux hypothèses servant de base au marquage CE.

** Essai selon NF P 98-282 (Voir Réf : § 2.1.13)

Figure 17 : Qualité du support exigible selon les familles d'étanchéité

In fine, la qualité du support, en terme de texture et de cohésion de surface, doit être celle prévue sur un ouvrage neuf et que le tableau de la figure 17 rappelle.

> Si le support n'est pas conforme à ces exigences, en fonction de l'importance (en surface et en épaisseur) de la reprise de surface, le guide technique STER 81 du SETRA, sous-dossier ST, fascicule 2, § 2.4, donne quelques indications sur l'opération :

«1. - Epaisseur du ragréage inférieure à un (1) cm

Dans le cas d'une étanchéité à base d'asphalte, un apport supplémentaire d'asphalte pur est acceptable ; au-delà, on risquerait des instabilités au droit des zones circulées.

Dans le cas d'une étanchéité par feuille, le ragréage peut être fait par un apport d'asphalte pur. On peut aussi envisager des ragréages à base du bitume «fillerisé» de la feuille chargée en sable 100/400 µm ou 0/1 concassé à raison de 25 à 30% en masse.

2. - Epaisseur du ragréage comprise entre un (1) cm et 4/5 cm pour les étanchéités à base d'asphalte ou comprenant des feuilles bitumineuses préfabriquées et épaisseur comprise entre 0 et 4/5 cm pour les étanchéités de type SEL.

Pour les premières, la difficulté principale est liée au choc thermique de ces matériaux coulés à des températures de 200 à 250°C. Le matériau de ragréage devra donc supporter ce choc indépendamment de l'effet de la vaporisation de l'eau éventuellement incluse dans le matériau de ragréage.

Pour les secondes, le choc thermique existe encore (béton bitumineux) mais avec une valeur inférieure. Par contre, on a besoin [.....] d'une excellente qualité de surface du béton. Sur les zones réparées, le film mince devra pouvoir adhérer comme sur le béton de ciment adjacent.

Un simple mortier de ciment peut s'avérer insuffisant pour les raisons suivantes :

- apparition de fissures de retrait dans le mortier parce qu'il est trop riche en ciment ou trop faible en épaisseur,
- résistance à l'attrition insuffisante qui peut risquer de le faire tomber en poussière et de créer des désordres dans les couches supérieures de la chaussée.

C'est pourquoi on conseille l'utilisation de mortier à liant amélioré (résine époxydique par exemple) avec un plan de collage aux résines époxydiques (les mortiers améliorés par émulsion de latex sont fortement déconseillés).

Le choix de la résine époxydique (souplesse, susceptibilité à l'humidité, résistance mécanique et au choc thermique, coefficient de dilatation aussi proche que possible de celui du béton, etc.) ainsi que celui des granulats (calcaire de préférence pour diminuer le coefficient de dilatation) devra faire l'objet d'une étude préalable.

[.....]

3. - Pour des épaisseurs de ragréage supérieures à 4 ou 5 cm, on pourra choisir comme matériau un micro béton avec un plan de collage aux résines époxydiques.

4. La préparation de la surface de reprise est importante : repiquage et enlèvement de la laitance d'une part, recherche d'arêtes vives d'autre part, selon le schéma de la figure 18. »



Figure 18 : principe du traitement des bords d'un ragréage pour éviter une finition à zéro - Document SETRA.

Il est conseillé de subordonner la réception du ragréage à la réalisation d'un essai d'adhérence conformément à la norme NF P 98-282 (voir référence au § 2.1.13). On conseille d'effectuer, en principe, deux essais pour une surface de 500 m², sauf accord particulier entre les parties.

5.1.2 CONTRÔLE DES MATÉRIAUX

C'est un contrôle de conformité avec la fiche technique et l'avis technique conformément aux indications du F67-1.

Il n'est pas, fondamentalement, différent de la situation sur un ouvrage neuf.

Préalablement au chantier, on aura vérifié, le cas échéant, la compatibilité entre les matériaux nouveaux avec ceux existants sur l'ouvrage et sur lesquels le procédé aura à se connecter.

En principe, il n'y a pas de risque entre feuilles préfabriquées bitumineuses, ni entre ancienne étanchéité de type résine époxydique et feuilles préfabriquées bitumineuses, sous réserve d'une vérification, car cette résine ancienne contenait des brais dont les huiles peuvent exsuder ; mais il s'agit, maintenant, de situations exceptionnelles.

De la même façon, on vérifiera la compatibilité entre une étanchéité SEL mise en œuvre manuellement et une autre, de même famille chimique, mais mise en œuvre mécaniquement.

Un autre point important à noter est la mise en œuvre conformément aux conditions de chantier spécifiées par le guide de pose du procédé. Les travaux de réparation sont souvent réalisés dans un créneau de chantier très court et fixé longtemps à l'avance pour des raisons de trafic et, souvent, la tentation est grande de travailler coûte que coûte (souvent sous la pression du maître d'œuvre), quitte à ne pas respecter totalement les prescriptions. Ceci n'est pas admissible et doit faire l'objet d'une réserve de la part de l'entreprise. Si le chantier doit se dérouler à une période pour laquelle des conditions ambiantes conformes ne sont pas garanties, le fascicule 67-1 prévoit la mise en œuvre d'un abri. Cette possibilité n'est pas à exclure pour garantir un travail de qualité.

5.1.3 CONTRÔLE DE RÉCEPTION DES TRAVAUX EFFECTUÉS

Il est souvent limité à des constatations visuelles. Si la faible surface concernée n'incite pas, tant pour des raisons économiques que techniques, à réaliser la totalité des contrôles exigés par le F67-1, il convient d'être vigilant sur ce point et, au lieu de refuser l'absence de contrôle, prévoir un plan de contrôle (essai d'adhérence, par exemple) allégé en tenant compte de ces impératifs. Cette observation vaut autant pour la maîtrise d'œuvre que pour l'entreprise, qui ne doit pas oublier son plan de contrôle présenté dans son guide de pose.

L'article III : «Produits et solutions techniques possibles» des Recommandations rédigées par l'AFTES précise les méthodes de contrôle en fonction de la famille d'étanchéité citée au § 1.2. Le lecteur est invité à consulter ce guide sous la référence 2.2.6.

Le programme de contrôle est défini dans le tableau de la figure 18 au chapitre 8, repris de la référence 2.3.3, chapitre 7. Ce tableau, établi pour un ouvrage neuf, s'applique ipso facto pour une réparation (bien entendu en l'adaptant à l'importance du chantier).

On notera qu'il est important, surtout dans un contexte de réparation où la compétence du personnel ainsi que le choix des matériaux sont primordiaux, que les soudeurs aient une certification ASQUAL de soudage.

6

Hygiène et sécurité

6.0 Généralités

6.1 Cas des étanchéités des ponts routes et des ponts rails

6.2 Cas des étanchéités des tunnels et autres ouvrages souterrains similaires

6.3 Cas des étanchéités de bassins à base de DEG

Voir le guide FAEQ 1.

Dans ce chapitre, on distinguera les deux aspects suivants.

6.1.1 PROTECTION ET GESTION DU CHANTIER

> Lors de la préparation de son chantier, l'entreprise aura à vérifier les points suivants (liste non limitative) :

- Le chantier est-il sous trafic ? Comment est assurée la protection de chantier (par exemple, doit-on prévoir la mise en place de protections lourdes de chantier par séparateurs modulaires de voies ?) Quelles sont les possibilités d'accès au chantier ?
- Doit-on se coordonner avec d'autres entreprises qui auront à intervenir sur le site ?
- Soupçonne-t-on l'existence de canalisations de service public et quels sont les risques vis-à-vis de ces concessionnaires ? A noter que des accidents ont été signalés par suite de présence de lignes électriques qui étaient dans l'épaisseur de la chaussée alors que ceci n'avait pas été signalé sur les plans.
- Y a-t-il des précautions à envisager qui sont liées à l'environnement, notamment pour les poussières, le bruit, l'évacuation de l'eau ?
- Quelles sont les épaisseurs à traiter ?
- Quels sont les délais ? Quels sont les créneaux horaires pendant lesquels les travaux pourront être réalisés ? Existe-t-il des périodes de week-end dans le délai ? Des jours particuliers liés à la gestion du trafic ?
- Comment seront traités les abords de l'ouvrage ?
- Existe-t-il des délais draconiens pour chaque phase de travaux ?
- Dispose-t-on d'une maîtrise au mieux des prévisions météorologiques ?

C'est le PPSPS (Plan particulier de sécurité et de protection de la santé) qui précisera les conditions de travail.

> A titre d'information, les durées de chantier sous circulation peuvent, par exemple, pour un passage inférieur d'environ 600 m² par tablier, sans traitement des joints de chaussée, varier de la façon suivante en fonction du mode d'exploitation retenu :

- sous basculement total : 4 semaines,
- sous phasage transversal sans remise en circulation le week-end : 8 semaines,
- sous phasage transversal avec remise en circulation le week-end : 12 semaines.

6.1.2 UTILISATION DES PRODUITS ET CONDITIONS DE CHANTIER

Le chantier de réparation va conduire à utiliser, soit des produits chimiques, soit des moyens de chauffage pour porter à fortes températures (de 150 à 250°C) des matériaux, ce qui induit des précautions (voir le § 6.0 ci-dessus).

D'autre part, un chantier d'étanchéité nécessite des matériels tels que chalumeau, bouteille de gaz, décapeuse d'eau sous très haute pression, sablage, rabot, etc. Tous ces matériels disposent de précautions d'emploi sous forme de fiches de précautions attachées à ces engins. L'entrepreneur et son personnel utilisateur doivent avoir pris connaissance de ces documents et doivent, aussi, les appliquer.

L'emploi de produits chimiques, comme les primaires «solvantés» des procédés bitumineux ou les composants des SEL, peut conduire à la mise en place de protections individuelles contre ces produits nocifs ou inflammables.

Phases d'activité et matériel utilisé	Risques encourus	Mesures de protection spécifiques
1 - Accès au site	Circulation des véhicules sur chantier	Emprunter les pistes d'accès, interdire la traversée des voies par le personnel, signal sonore de recul de véhicule.
2 - Communication	Appel d'urgence.	Téléphone portable sur le lieu de travail.
3 - Déchargement matériel et matériaux	Ecrasement des pieds, des doigts.	Chaussures de sécurité, gants de manutention.
4 - Application de primaire	Projections	Gants et lunettes de sécurité.
5 - Application de l'étanchéité de type SEL.	Projection de résine	Combinaison, masque, gants et lunettes de sécurité
6 - Nettoyage.	Projections de poussières, débris.	Lunettes de sécurité, gants de protection,.
7 - Mise en œuvre d'une feuille préfabriquée bitumineuse. Chalumeau à gaz.	Brûlure, inhalation, projection, incendie.	Gants de protection, lunettes de sécurité, masque respiratoire, extincteur prêt à l'emploi.
8 - Pas d'intervenants extérieurs dans les zones de travail. Décalage dans l'espace des autres travaux		
9 - Etanchéité de type asphalte. Préparation de mélange bitumineux dans des malaxeurs ou des fondoirs à bitume.	Brûlure, inhalation, projection, incendie.	Gants de protection, lunettes de sécurité, masque respiratoire, extincteur prêt à l'emploi.

Tableau 19 : Les principales mesures spécifiques à l'activité «Etanchéité de pont route»

L'article III : «Produits et solutions techniques possibles» des Recommandations rédigées par l'AFTES permet de retrouver les aspects traitant de l'hygiène et de la sécurité sur un chantier de réparation en fonction de la famille d'étanchéité citée au § 1.2. Le lecteur est invité à consulter ce guide sous la référence 2.2.6.

La première tâche va consister à aménager un accès à la zone de chantier si celui-ci n'existe pas. Cet accès doit être sécurisé afin de ne pas autoriser l'accès à des personnes étrangères au chantier de réparation.

Si la zone à réparer est couverte par de l'eau ou des matériaux de stockage ou un décantat, il faudra procéder à son élimination à l'aide de pompes ou d'engins adaptés. Tous ces matériels disposent de précautions d'emploi sous forme de fiches de précautions attachées à ces engins. L'entrepreneur et leurs utilisateurs doivent avoir pris connaissance de ces documents et doivent, aussi, les appliquer.

Si la réparation nécessite la circulation d'engins mécaniques sur un DEG sans protection mécanique, il conviendra de créer une protection circulaire en fond de bassin afin de rendre cet accès possible sans risquer d'endommager encore plus le DEG.

Il faut prévoir la mise en place d'une signalisation et d'une protection de la zone de travail.

Enfin, si la zone d'intervention est sur un talus ou en sommet d'un talus, avant d'entreprendre les travaux, l'entreprise doit prévoir les systèmes de sécurité (échafaudage, harnais, cordes, etc.) qui permettront au personnel de chantier de travailler en toute sécurité.

Pour les DEG-B, ce qui est indiqué pour les étanchéités des ponts à propos des procédés de type FPA ou FPM s'applique pour la mise en œuvre de la géomembrane bitumineuse, le matériel de mise en œuvre étant le même.

Pour les DEG-P, le soudage à l'air chaud entraîne l'utilisation de matériels de production de chaleur qui nécessitent les précautions en conséquence.

7

Gestion des déchets

7.0 Généralités

7.1 Cas des étanchéités des ponts routes

7.2 Cas des étanchéités des tunnels et autres ouvrages souterrains similaires

7.3 Cas des étanchéités de bassins à base de DEG

Voir le guide FAEQ 1.

La filière des déchets est traitée dans le SOSED (Schéma d'Organisation et de Suivi de l'Élimination des Déchets).

Nota : Le cas particulier des étanchéités des ponts rails rentre dans ce chapitre.

Pour les étanchéités des ponts, les produits de type feuille préfabriquée bitumineuse sont livrés sur des palettes et emballés dans des films plastiques dont la composition et le volume ont été choisis pour limiter les problèmes de déchets sur chantier et être recyclables.

Pour les procédés à base d'asphalte ou de type MHC, il n'y a, pratiquement, pas de déchets de chantier.

Reste le cas des procédés à base de résine et les bidons de primaire à base de solvant. Les fiches «données de sécurité» précisent, à chaque fois, le traitement qu'il convient de donner à ces déchets.

Ci-dessous, copie, à titre d'illustration, du § «considérations relatives à l'élimination» d'une fiche de données de sécurité d'un produit composant d'une étanchéité de type SEL :

«- déchets/produits non utilisés : collecter tous les déchets dans des conteneurs appropriés et étiquetés et éliminer conformément aux règlements locaux. Ne pas jeter les déchets à l'égout.

- Emballages contaminés : après utilisation, l'emballage sera complètement vidé. Les restes dans les emballages souillés durcissent au contact de l'humidité atmosphérique. Les emballages souillés peuvent ensuite être traités comme des déchets industriels ordinaires.»

Ces prescriptions sont à appliquer, ce qui implique que la fiche «données de sécurité» soit disponible sur chantier (même si elle peut être, le plus souvent, téléchargée sur le site du fabricant).

Concernant l'élimination des matériaux en place qui ont été déposés pour permettre la mise en œuvre de la nouvelle étanchéité, on distinguera, en fonction des familles de produits :

a) Les enrobés et les procédés comportant du bitume.

Ils peuvent être recyclés comme fraisats d'enrobé, dont l'utilisation est fonction de leur composition : par exemple ils peuvent servir de remblai ou de sous-couche d'assise routière.

L'entrepreneur aura à se faire préciser, par le maître d'œuvre, la composition des déchets et la destination qui aura été envisagée au marché.

b) Les produits à base de polyuréthane sont à diriger vers une décharge de classe 1.

La difficulté de gestion des déchets réside dans les faibles quantités concernées au stade d'un chantier de réparation d'une étanchéité. C'est pourquoi la procédure retenue par les entreprises consiste à rassembler tous les déchets, sans tri, dans une benne de chantier qui est, ensuite, ramenée à la base où le tri est effectué en fonction de la nature des matériaux. Ceci permet de disposer, au bout d'un certain nombre d'opérations, de quantité suffisante pour une gestion conforme au bordereau de suivi des déchets, tel qu'il est défini dans le guide FAEQ 1 en relation avec le SOSED.

L'article III : «Produits et solutions techniques possibles» des Recommandations rédigées par l'AFTES permet de retrouver les aspects traitant de la gestion des déchets sur un chantier de réparation en fonction de la famille d'étanchéité citée au § 1.2.

Le lecteur est invité à consulter ce guide sous la référence 2.2.6.

Cette gestion des déchets prend plusieurs aspects selon les matériaux constitutifs du DEG et de la présence ou non d'un décantat.

7.3.1 GESTION DU DÉCHET DÉCANTAT

> **L'eau pompée doit faire l'objet d'une analyse de sa qualité afin de pouvoir déterminer :**

- si elle peut être renvoyée dans le milieu naturel,
- si elle doit être retraitée dans une station de traitement des eaux normale,
- si elle doit être dirigée vers un centre spécifique afin d'éliminer les polluants de type hydrocarbure ou les métaux lourds, etc.

De même, la nature, les résultats des analyse de composition (notamment, les teneurs d'éventuels polluants ou métaux lourds ou autres) et les quantités prévisibles de décantat doivent être précisées lors de la consultation.

Cette analyse est essentielle avant la passation du marché et les informations devront être mises à la disposition des soumissionnaires afin de pouvoir définir un prix en pleine connaissance de cause. L'absence de cette information peut conduire à un arrêt du chantier, des discussions, un prix nouveau et un avenant !

C'est donc lors de la mise au point du DCE que le maître d'œuvre prépare un cadre du SOSED.

C'est à partir de ces données que l'entreprise, en réponse à l'appel d'offres, proposera un SOSED préparatoire qui sera, si l'entreprise est retenue, transformé en un SOSED détaillé préparé en accord avec la maîtrise d'œuvre avec la classe de décharge retenue. En fin de chantier, il fournira au maître d'œuvre le bordereau de suivi de la mise en décharge du déchet (ce document n'est pas obligatoire pour les déchets non dangereux, mais fortement conseillé).

De même, pendant la réalisation des travaux, le document de suivi des déchets pourra, éventuellement, être mis à jour pour tenir compte de dispositions spécifiques suite à des matériaux non identifiés dans le dossier d'appel d'offres.

7.3.2 GESTION DES DÉCHETS DE COMPOSANTS DU DEG

Si la réparation est ponctuelle et ne nécessite pas une intervention sur la couche support, on peut procéder à la réparation en découpant la zone en cause et laisser en place les éléments de la géomembrane abîmée qui servira alors de support.

Si l'intervention porte sur la reprise de la couche support (par exemple pour reprendre les désordres représentés sur les figures 14c et d), la dépose de la géomembrane est nécessaire. S'il s'agit d'un DEG-B, elle est placée en déchet bitumineux qui peut être recyclé en composant de chaussée comme un fraisât (voir ci-dessous).

S'il s'agit d'un DEG-P, le classement est fonction de la nature chimique du polymère. En principe, il doit être orienté vers une décharge de classe 2.

Pour les couches de protection comme les enrobés, ils peuvent être triés et recyclés dans des filières spécialisées aux fins de constituer des déchets de type fraisats, qui peuvent rentrer dans la formulation des enrobés bitumineux pour les couches des chaussées ou servir de remblai ou de sous-couche d'assise routière.

Si la couche de protection est en béton, ce dernier sera mis en décharge comme déchets inertes ou recyclés comme granulats de remblai.

Quant aux composants des couches de drainage ou les protections en polyester, il apparaît, d'après les constatations, que ces produits sont éliminés à terme du fait de la nature des sols. C'est ce qui explique leur remplacement actuel par le polypropylène, dont le recyclage consiste, soit à le laisser en place (où il va apporter du lest sur les couches maintenues et éviter des phénomènes en soulèvement), soit à le verser en décharge de classe 2.

8

PAQ

8.0 Généralités

8.1 Cas des étanchéités des ponts routes
(et des ponts rails)

8.2 Cas des étanchéités des tunnels
et autres ouvrages souterrains similaires

8.3 Cas des étanchéités de bassins
à base de DEG

La nature des travaux de réparations sur les divers types d'étanchéité et, compte tenu de l'existence de trois contextes (ponts routes et ponts rails, ouvrages souterrains et bassins avec DEG), la diversité des procédés rendent difficile l'élaboration d'un PAQ qui puisse être adapté à chaque situation. Dans le cas où la réparation d'une étanchéité consiste, pratiquement, dans la pose d'une nouvelle étanchéité en lieu et place de l'ancienne, elle s'apparente totalement à une opération de mise en œuvre d'une étanchéité sur un ouvrage neuf. Auquel cas les modalités d'élaboration et d'application du PAQ sont identiques et on les appliquera. Celles-ci sont basées sur un guide de pose du produit.

On rappellera qu'il est très important qu'une opération de réparation d'une étanchéité, même de courte durée et de faible coût, fasse l'objet d'une procédure et d'un cadre de document de suivi principal.

> Le marché doit fixer, en s'inspirant des dispositions du présent guide :

- les stipulations (prescriptions de moyens et spécifications de produits) à respecter ainsi que la consistance des essais et contrôles. Ces obligations sont reprises dans les procédures et les cadres des documents de suivi ;
- ce qui relève des contrôles interne, extérieur voire externe ;
- un cadre de PAQ avec la liste minimale des procédures et des cadres de documents de suivi à fournir ;
- le calendrier et les conditions de présentation au maître d'œuvre des différents documents constituant le SOPAQ et le PAQ au fur et à mesure du déroulement de l'opération chantier (de la remise des offres à la signature du marché et de la période de préparation des travaux à leur réception).

Nota : Le cas particulier des étanchéités des ponts rails rentre dans ce chapitre.

Les tableaux 20 donnent un schéma général pouvant servir de cadre à la rédaction d'un Plan d'Assurance de la Qualité (PAQ). Les clauses seront à sélectionner selon que l'on aura affaire à un procédé Asphalté, FPM ou FPA.

	Phases d'exécution concernée	Intervention du contrôle interne		Intervention du contrôle extérieur (1)
		Points critiques (2)	Points d'arrêts (3)	
SUPPORT	Rugosité		X	Oui
	Planéité générale	X		
	Propreté	X		
	Etat hygrométrique		X	
	Géométrie	X		
	Réception			Point d'arrêt : X
MATERIAUX	EIF			Oui
	- Nature,	X		
	- Conformité à la commande,	X		
	- Quantité	X		
MATERIAUX	Feuilles préfabriquées bitumineuses			Oui
	- Nature,		X	
	- Conformité à la commande,		X	
	- Quantité	X		
	Asphalte		X	Oui
	- Température,		X	
	- Indentation départ		X	
	- Indentation retour	X		
	- Température	X		
	- Conformité à la commande	X		
- Quantité	X			
EXECUTION	EIF			Oui
	Homogénéité de la couche	X		
	Feuilles préfabriquées bitumineuses			Oui
	- Recouvrements	X		
	- Joints	X		
	Asphalte			Oui
	- Règles	X		
	- Planéité	X		
	- Epaisseur	X		
	- Joints	X		
- Vérification de la valeur de l'adhérence au support (cas des FPM et FPA en adhérence)		X		
RECEPTION			Point d'arrêt : X Réalisation éventuelle d'essais d'adhérence	

Tableau 20-1 : résumé des points critiques et d'arrêts lors d'un chantier de réalisation d'une réparation de chape d'étanchéité de type asphalté, FPM ou FPA sur un pont route ou rail.

	Phases d'exécution concernée	Intervention du contrôle interne		Intervention du contrôle extérieur (1)
		Points critiques (2)	Points d'arrêts (3)	
SUPPORT	Rugosité	X		Oui
	Planéité générale	X		
	Propreté	X		
	Etat hygrométrique, temps depuis coulage, valeur du point de rosée,	X		
	Géométrie	X		
	Cohésion (essai d'adhérence)	X		
	Réception		X	Point d'arrêt : X
MATÉRIAUX	Primaire			Oui
	- Nature,	X		
	- Conformité à la commande,	X		
	- Quantité	X		
MATÉRIAUX	Film			Oui
	- Quantité	X		
	- Nature,	X		
	- Conformité à la commande,	X		
	- Densité des produits A/B	X		
	- Rapport du mélange A/B et dérive admissible	X		
	- Température de A et de B et dérive admissible	X		
- Température et hygrométrie de l'air ambiant,	X			
EXÉCUTION	Primaire			Oui
	Homogénéité de la couche	X		
	Film	X		
	- Débit souhaité en litre/minute	X		
	- Calibrage des pompes	X		
	- Epaisseur	X		
- Vérification de la valeur de l'adhérence au support	X	X		
RECEPTION			Point d'arrêt : X Réalisation d'essais d'adhérence	Point d'arrêt : X Réalisation d'essais d'adhérence

Tableau 20-2 : résumé des points critiques et d'arrêts lors d'un chantier de réalisation d'une réparation de chape d'étanchéité de type SEL (ou FMAS) sur un pont route ou rail.

Commentaires communs aux deux tableaux

(1) il s'agit du maître d'œuvre du client (voire du client) ou d'un organisme habilité par lui (laboratoire ou bureau d'études).

(2) un point critique est un point de l'exécution qui nécessite une matérialisation du contrôle interne sur un document de suivi d'exécution ainsi qu'une information préalable du contrôle extérieur pour que ce dernier puisse effectuer son contrôle s'il le juge nécessaire. L'intervention du contrôle extérieur n'est pas indispensable à la poursuite de l'exécution.

(5) un point d'arrêt est un point critique pour lequel un accord formel du maître d'œuvre (ou d'un organisme habilité par lui) est nécessaire à la poursuite de l'exécution. Les délais de préavis et les délais de réponse du maître d'œuvre sont fixés dans le marché ainsi que les dispositions à prendre à l'issue du délai de réponse en l'absence de réaction du maître d'œuvre (situation très anormale). Les points d'arrêt doivent être prévus au marché.

Les Recommandations rédigées par l'AFTES permettent de mettre en forme un PAQ pour un chantier de réparation en fonction de la famille d'étanchéité citée au § 1.2. Le lecteur est invité à consulter ce guide sous la référence 2.2.6.

Le tableau de la figure 21, établi à partir de la référence 2.3.3 (§ 4 de la partie guide technique), présente, dans un contexte d'un ouvrage neuf, les contrôles à réaliser. Ils seront, bien entendu, adaptés au volume de la réparation : la pose d'une rustine de 1 m² sur un DEG sans protection ne se traite pas comme une reprise d'un affaissement de talus.

En ce qui concerne la qualité des fournitures, la certification ASQUAL est basée sur un certain nombre d'essais dont le tableau de l'annexe 3 donne un exemple, à titre d'information. En l'absence de certification, on exigera la conformité aux spécifications des normes ou méthodes d'essais cités.

Nature des tâches	Points d'arrêt	Contrôle intérieur		Contrôle extérieur	
		Interne	Externe		
1 - Réception des matériaux					
a) manufacturés	- Conditions de livraison, manutention, stockage, - Etiquetage des rouleaux et panneaux, - Marquage des produits, - Tenue du registre d'approvisionnement (date, N°, quantités), - Fiche contrôle usine (éventuellement).		X (1)	X Prélèvements et essais selon fréquence et nature en fonction du produit	Xn Id. Contrôle externe
b) granulaires	- Nature et identification des produits et conformité à la commande, - Présence visuelle d'anomalie, - Tenue du registre d'approvisionnement (date, N°, quantités), - Vérification des fiches contrôles de fabrication.		X	X Granularité, propreté, angularité, teneur en eau éventuelle et essais spécifiques	Xn Id. Contrôle externe
2 - Réception des supports					
	- Portance (essai de « praticabilité »), - Mesure de planéité, géométrie générale et des tranchées d'ancrage, - Aspérités et autres éléments poinçonnant, - Continuité (matériaux trop ouverts).	X	X	X - Portance en fond - Compacité en fond de bassin et en talus	Xr Id. Contrôle externe
3 - Mise en œuvre des géomembranes					
3.1 Conditions générales	- Plan de calepinage, - Matériel, matériaux et modalités d'assemblage, - Conditions générales : températures, propreté, humidité.				
3.2 Essais préalables de réalisation des joints					
- Essais de convenance		X Selon chantier et qualification du soudeur	X	X	Xr
- Essais de réglage en début de poste			X	X	Xn
3.3 Contrôles non destructifs des joints			X	X Détail, répartition et fréquence à définir	Xr
3.4 Contrôles destructifs des joints					
- in situ (essai d'information)				X Détail, répartition et fréquence à définir	
- en laboratoire				X	Xr
3.5 Traitement des points singuliers			X	X Détail, répartition et fréquence à définir	Xr
3.6 Examen de la géomembrane avant recouvrement	- Percements, examen visuel ou méthode électrique généralisée (avec film d'eau), - Plissements.	X	X	X	Xr
4 - Mise en œuvre de la protection	- Mode de mise en œuvre, circulation, - Epaisseur		X	X	Xn
5 - Examen et évaluation du DEG	- Vérification éventuelle de la fonction étanchéité selon modalités prévues au CCTP, - Remplissage de l'ouvrage, - Méthodes électriques.			X	Xn

Xn : intervention normale, Xr : intervention soutenue, voire très soutenue

(1) Des contrôles (internes au minimum) ont toujours lieu, que le produit soit ASQUAL ou non (traction en pleine feuille, traction par pelage ou par cisaillement).

Figure 21 : tableau d'un exemple de programme de contrôle en fonction des tâches

FIGURES & TABLEAUX

- Figure 1 : les trois types de structure à remblayer
- Figure 2 : le principe de la pose en extradados
- Figure 3 : le principe de la pose en intrados
- Figure 4 : la composition type d'un complexe comprenant des membranes à base de bitume Bmp.
- Figure 5 : la composition type d'un complexe DEG-P
- Figure 6 : les modes de soudage de géomembranes synthétiques par mono soudure ou par double soudure avec canal central
- Figure 7 : principe général d'un DEG
- Figure 8 : soudure par cordon extrudé de géomembranes synthétiques
- Figure 9 : a) coupe type d'un DEG en talus
b) schéma de principe d'un ancrage d'une géomembrane en tête d'un talus
c) principe de raccordement étanche d'une géomembrane à un ouvrage en béton
- Figure 10 : organigramme relationnel des désordres observés sur une couche de chaussée en section courante
- Figure 11 : tableau résumant les désordres observés sur une couche de roulement dont la(les) cause(s) probable(s) peut (peuvent) être reliées à l'étanchéité
- Figure 12 : méthodes de détection de fuites
- Figure 13 : graphe d'une anomalie électrique constatée sur une décharge donnant la localisation de la zone probable de passage de l'eau
- Figure 14 : a) déchirure par vieillissement du matériau
b) défaut de jonction à un ouvrage béton
c) effondrement de talus
d) gonfles par gaz de fermentation du sol support
- Figure 15 : les deux étapes à respecter pour un enlèvement d'un complexe étanchéité/roulement permettant d'éviter une dégradation du support en béton
- Figure 16 : Principe du traitement en rive d'un «système inverse» pour éviter un contournement de l'étanchéité et une contamination de l'enrobé support de chape.
La zone A peut être remplie par un matériau plein type asphalte gravillonné (dans ce cas, le drain est au-dessus de ce remplissage) ou par un enrobé qui devra être parfaitement drainé.
- Figure 17 : qualité du support exigible selon les familles d'étanchéité
- Figure 18 : principe du traitement des bords d'un ragréage pour éviter une finition à zéro
- Tableau 19 : les principales mesures spécifiques à l'activité «Etanchéité de pont route»
- Tableau 20-1: résumé des points critiques et d'arrêts lors d'un chantier de réalisation d'une réparation de chape d'étanchéité de type asphalte, FPM ou FPA sur un pont route ou rail
- Tableau 20-2: résumé des points critiques et d'arrêts lors d'un chantier de réalisation d'une réparation de chape d'étanchéité de type SEL (ou FMAS) sur un pont route ou rail
- Figure 21 : tableau d'un exemple de programme de contrôle en fonction des tâches

INDEX

A	
ASQUAL.....	4, 27, 67, 86, 91, 92
avis technique.....	12, 14, 22, 30, 57, 65
C	
compartimentage.....	16, 19, 20, 31
D	
décantat.....	4, 6, 74, 79
déformations permanentes.....	37
délai(s).....	56, 71, 84
désenrobage.....	34, 36, 38
E	
efficacité des chapes.....	41
élastomères.....	25
étanchéité inverse.....	55
état des matériaux.....	40, 41
extrados.....	15, 16, 37
G	
garantie.....	12, 13, 22, 23, 47, 51
I	
intrados.....	15, 16, 39, 40
J	
joints.....	6, 21, 25, 39, 51, 56, 57, 71, 83, 86
M	
marché.....	12, 13, 22, 43, 77, 79, 82, 84
marquage CE.....	12, 63
N	
NF EN 1504-5.....	32, 48
P	
poissonnement dynamique.....	14
propriété industrielle ou commerciale.....	21
protection industrielle et commerciale.....	6
R	
ragréage.....	63, 64, 65
relevé(s).....	34, 41, 54, 55, 56, 57
renformis.....	30, 43, 44
responsabilité décennale.....	5, 13
S	
soudage.....	19, 25, 27, 59, 67, 74
soudure.....	18, 19, 25, 26, 46, 50
T	
thermoplastique(s).....	19, 20

Annexes

1

Sommaire du guide STER81 - Mise à jour 2

2

Lexique

3

Tableau des essais de certification ASQUAL

SOMMAIRE DU GUIDE STER81, MISE À JOUR 2 «Réfection des étanchéités et des couches de roulement des tabliers d'ouvrages d'art. Réparations localisées.» Mise à jour n° 2 de mai 2001 STER 81

PRESENTATION

1 - SURFACE COURANTE

1.1 - LES DIFFÉRENTS TYPES DE RÉPARATIONS LOCALISÉES

1.2 - SOLUTIONS EN FONCTION DU COMPLEXE D'ÉTANCHÉITÉ

- 1.2.1 - CAS D'UN PROCÉDÉ FILM MINCE ADHÉRENT AU SUPPORT
- 1.2.2 - CAS D'UN PROCÉDÉ EN FEUILLE PRÉFABRIQUÉE
- 1.2.3 - CAS D'UN PROCÉDÉ FEUILLE PRÉFABRIQUÉE + ASPHALTE GRAVILLONNE
- 1.2.4 - CAS D'UN BI-COUCHE ASPHALTE
- 1.2.5 - CAS D'UN PROCÉDÉ M.H.C. (Moyens à Haute Cadence)

2 - POINTS SINGULIERS

2.1 - ARRÊT DE COUCHE DE REPROFILAGE SOUS CHAPE

2.2 - TRAITEMENTS DES RELEVÉS EN L'ABSENCE D'ENGRAVURE

- 2.2.1 - IL EST POSSIBLE DE RÉDUIRE LA LARGEUR DE LA CHAUSSÉE
- 2.2.2 - IL N'EST PAS POSSIBLE DE RÉDUIRE LA LARGEUR DE LA CHAUSSÉE

2.3 - ÉTANCHEITÉ DE TROTTOIRS AVEC DALLETES

- 2.3.1 - PAS DE SUPPRESSION DE DALLETES
- 2.3.2 - SUPPRESSION DES DALLETES

2.4 - RACCORDS AUX JOINTS DE CHAUSSÉE NON DÉPOSÉS

LEXIQUE

AFTES :	Association Française des Tunnels et de l'Espace Souterrain
CFG :	Comité Français des Géomembranes
BMp :	Bitume modifié par des polymères
SBS :	Styrène butadiène styrène
PVC P :	Polychlorure de vinyle plastifié
PEHD :	Polyéthylène haute densité
EPDM :	Terpolymère d'éthylène-propylène-diène monomère
PP-F :	Polypropylène flexible
Polyoléfines :	Monomères hydrocarbonés insaturés dont la formule générale est $R=C R1 R2$. (R1 et R2 sont des groupements tels -H, -CH3, -CH2-CH(CH3)2). Ils constituent une famille de polymères produits à partir d'oléfines pures (polyéthylène, polypropylène) ou à partir de leurs mélanges avec d'autres monomères, le(s) monomère(s) oléfinique(s) constituant la principale partie en masse.
ASQUAL :	Association pour la qualification (géotextiles et géomembranes)
SOSED :	Schéma d'Organisation et de Suivi de l'Élimination des Déchets
DEG-b :	Dispositif d'Étanchéité par Géomembrane bitumineuse
DEG-p :	Dispositif d'Étanchéité par Géomembrane synthétique ou Polymère (ce dernier terme a été retenu par les normes)
SEL :	Système d'étanchéité liquide (terminologie retenue par la normalisation européenne et qui se substitue donc à FMAS : Film Mince Adhérent au Support utilisé jusqu'à maintenant)
FPM :	Feuille préfabriquée bitumineuse mono couche
FPA :	Feuille préfabriquée bitumineuse recouverte par une protection en asphalte gravillonnée
MHC :	procédé d'étanchéité par moyen à haute cadence, sous-entendu «routier»
PPSPS :	Plan Particulier de Sécurité et de Protection de la Santé

Voir aussi l'annexe A « terminologie relative aux géomembranes » de la référence 2.3.1.

TABLEAU DES ESSAIS DE CERTIFICATION ASQUAL

		Polyoléfine	PVC-P	EPDM	Bo	Bmp
Essais d'identification	Largeur	EN 1848-2 + MO1	EN 1848-2 + MO1	EN 1848-2 + MO1	EN 1848-1 + MO1	EN 1848-1 + MO1
	Epaisseur	EN 1849-2 + MO2	EN 1849-2 + MO2	EN 1849-2 + MO2	EN 1849-1 + MO2	EN 1849-1 + MO2
	Ep. GMB non lisse	XP P 84.512-2 + MO2 bis	XP P 84.512-2 + MO2 bis			
	Masse surfacique	EN 1849-2 + MO2	EN 1849-2 + MO2	EN 1849-2 + MO2	EN 1849-1 + MO2	EN 1849-1 + MO2
Essais mécaniques	Traction	EN 12311-2 + MO3	EN 12311-2 + MO3	EN 12311-2 + MO3	EN 12311-1 + MO3	EN 12311-1 + MO3
	Poinçonnement statique	NF P 84.507 + MO4	NF P 84.507 + MO4	NF P 84.507 + MO4	NF P 84.507 + MO4	NF P 84.507 + MO4
Essai hydraulique	Perméabilité à l'eau	EN 14150 + MO5	EN 14150 + MO5	EN 14150 + MO5	EN 14150 + MO5	EN 14150 + MO5
Essai physico-chimiques	Masse volumique	EN ISO 1183-1 Méthode A + NF T 54.049 + MO6	EN ISO 1183-1 Méthode A + MO6	ISO 2781 Méthode A + MO6		
	Teneur en noir de carbone et en craie	EN ISO 11358 + MO7	EN ISO 11358 + MO7	EN ISO 11358 + MO7		
	Température de fusion (DSC)	EN ISO 11357 + NF T 51.223 + MO7				
	% de plastifiant		NF ISO 6427 + MO9			
	Type de plastifiant		MO10			
	Teneur en charges fines				MO11	MO11
	Point de ramollissement TBA				EN 1427 + MO12	EN 1427 + MO12
	Identification des polymères					MO13



Le comité de pilotage de la famille EQUIPEMENTS [FAEQ] était composé de :

Christian TRIDON , président du STRRES	
Bernard FARGEOT , président d'honneur du STRRES	
Hubert LABONNE , vice- président d'honneur du STRRES	
Didier CHABOT	COFEX ILE-DE-FRANCE
Gil CHARTIER	RCA
Gérard COLLE	COFEX LITTORAL
Jean-Pierre GADRET	SOLETANCHE BACHY
Christian TOURNEUR	FREYSSINET

Le guide ETANCHEITES [FAEQ 2] a été rédigé par :

Michel FRAGNET

L'auteur et le comité de pilotage remercient pour leur aide et leurs précieux conseils :

F. PERO	SETRA/CTOA
Y. MEURIC	SETRA/CTOA
B. PLU	SNCF
J-L. MAHUET	EGIS Rail - AFTES
G. MARCHAL	RCA
B. STEINER	ICOPAL
R. BENCHET	ICOPAL

Ce document a été réalisé avec le concours
de la Fédération Nationale des Travaux Publics (FNTP).

