



HAL
open science

Étanchéité des tabliers de pont et béton

Organisation de Coopération Et de Développement Économiques (ocde)

► **To cite this version:**

Organisation de Coopération Et de Développement Économiques (ocde). Étanchéité des tabliers de pont et béton. [Rapport de recherche] Organisation de coopération et de développement économiques(OCDE). 1972, 96 p. hal-01512581

HAL Id: hal-01512581

<https://hal.science/hal-01512581>

Submitted on 24 Apr 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

RECHERCHE ROUTIÈRE



étanchéité des tabliers de pont en béton

ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES
PARIS 1972

RECHERCHE ROUTIÈRE

RP 151 (1)

étanchéité des tabliers de pont en béton

RAPPORT PRÉPARÉ
PAR UN GROUPE DE RECHERCHE ROUTIÈRE DE L'OCDE
JUILLET 1972



ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES

17 SEP 1972



6 NOV. 1972

L'Organisation de Coopération et de Développement Économiques (OCDE), qui a été instituée par une Convention signée le 14 décembre 1960, à Paris, a pour objectif de promouvoir des politiques visant :

- à réaliser la plus forte expansion possible de l'économie et de l'emploi et une progression du niveau de vie dans les pays Membres, tout en maintenant la stabilité financière, et contribuer ainsi au développement de l'économie mondiale ;*
- à contribuer à une saine expansion économique dans les pays Membres, ainsi que non membres, en voie de développement économique ;*
- à contribuer à l'expansion du commerce mondial sur une base multilatérale et non discriminatoire, conformément aux obligations internationales.*

Les Membres de l'OCDE sont : la République Fédérale d'Allemagne, l'Australie, l'Autriche, la Belgique, le Canada, le Danemark, l'Espagne, les États-Unis, la Finlande, la France, la Grèce, l'Irlande, l'Islande, l'Italie, le Japon, le Luxembourg, la Norvège, les Pays-Bas, le Portugal, le Royaume-Uni, la Suède, la Suisse et la Turquie.

© Organisation de Coopération et de Développement Économiques, 1972.

Les demandes de reproduction ou de traduction doivent être adressées à :

M. le Directeur de l'Information, O.C.D.E.

2, rue André-Pascal, 75775 PARIS CEDEX 16, France.

AVANT-PROPOS

Le Programme de Recherche Routière comprend deux champs d'activité :

- la promotion de la coopération internationale dans le domaine de la construction, de la sécurité et de la circulation routières, grâce à la coordination des moyens de recherche dont disposent les pays Membres et à l'interprétation scientifique des résultats des expériences communes ;
- la Documentation Internationale de Recherche Routière, système coopératif documentaire, assurant l'échange systématique des informations sur la littérature scientifique et les programmes de recherches en cours dans les pays Membres.

Le programme actuel a pour but de définir les bases scientifiques et technologiques nécessaires aux Gouvernements pour prendre leurs décisions sur les problèmes routiers les plus urgents :

- planification, conception et entretien de l'infrastructure routière, compte tenu des développements et des besoins d'ordre économique, social et technique ;
- élaboration, organisation et mise en oeuvre de stratégies globales communes en matière de sécurité routière ;
- amélioration des systèmes actuels de contrôle de la circulation, tant sur les routes que dans les villes, et intégration des réseaux et moyens de transports nouveaux avec ceux qui existent déjà.

*

* *

Le Groupe de Recherche Routière sur la protection des tabliers de pont en béton armé et précontraint a été créé afin de recenser les méthodes actuellement utilisées dans les différents pays afin de faire une analyse critique des méthodes disponibles et d'élaborer des recommandations pour les points qui paraissent d'ores et déjà acquis et de déterminer les orientations pour les recherches ultérieures. Le rapport décrit les spécifications pour assurer une efficacité des chapes d'étanchéité ainsi que les matériaux et systèmes utilisés, et examine la pratique et les recherches dans les différents pays Membres. Enfin, le rapport contient des conclusions et recommandations à l'intention des ingénieurs des ponts et Chaussées ainsi que des propositions de recherches à entreprendre à l'avenir.

RESUME ANALYTIQUE

Dans certains pays, les tabliers en béton des ponts construits au cours des vingt dernières années présentent des dégradations d'une surprenante importance. L'expérience a démontré que dans les ponts soumis à des charges de trafic important, et sous l'effet des intempéries et de l'environnement corrosif dû à l'application renouvelée des fondants chimiques pendant l'hiver, les structures en béton de l'ouvrage doivent être protégées par une couche d'étanchéité efficace.

Le présent rapport examine les conditions requises d'une chape d'étanchéité efficace, décrit les systèmes disponibles (matériaux hydrocarbonés, feuilles préfabriquées et films minces adhérent au support), rend compte de leur utilisation dans différents pays et contient une évaluation des revêtements en béton sans chapes d'étanchéité spéciales. Après avoir procédé à une évaluation critique des différents systèmes, le rapport présente des conclusions et des recommandations relatives aux futures recherches. Les appendices du rapport contiennent des détails concernant les essais et spécifications pour matériaux d'étanchéité.

ABSTRACT

In some countries an unexpectedly large amount of deterioration has been experienced in the concrete decks of bridges built during the past two decades. Experience has shown that under heavy traffic, full exposure to weather and in the corrosive environment produced by the regular application of de-icing salt in winter, the structural concrete needs the protection given by an effective waterproofing layer.

The report discusses the requirements for an effective waterproofing layer, describes the systems available (bituminous materials, prefabricated sheeting and thin adhesive membranes), reviews their use in various countries and evaluates concrete surfacings without special waterproofing. It then makes a critical appraisal of these systems and ends with conclusions and recommendations for further research. The appendices contain details of tests and specifications for waterproofing materials.

TABLE DES MATIERES

	Page
CHAPITRE I : Introduction	9
CHAPITRE II : Exigences pour un système d'étanchéité efficace	11
CHAPITRE III : Matériaux et système d'étanchéité	15
CHAPITRE IV : Revêtements en béton	37
CHAPITRE V : Description des systèmes actuels	41
CHAPITRE VI : Comparaison critique des matériaux et systèmes d'étanchéité	61
CHAPITRE VII : Conclusions	67
CHAPITRE VIII : Recommandations pour des travaux futurs	71
APPENDICES	73
REFERENCES	87
LISTE DES PARTICIPANTS	89

INTRODUCTION

L'imperméabilisation des tabliers de ponts grâce à des chapes d'étanchéité spéciales est une méthode relativement neuve qui est maintenant de plus en plus adoptée par certains pays. Les dégâts attribuables à la pénétration d'eau dans les tabliers de pont ont fait l'objet de nombreux rapports en Europe et en Amérique (1, 2, 3). Ces dégâts se traduisent généralement, soit par la corrosion des aciers pour armatures de béton armé ou précontraint, soit par la désintégration du béton ; ceux-ci peuvent être très graves. Lorsque le tablier est recouvert d'un revêtement hydrocarboné, il se peut que les dégâts n'apparaissent que lorsqu'ils sont graves et que des réparations importantes sont nécessaires.

La prescription d'un système d'étanchéité est maintenant demandée par de nombreuses autorités responsables des ponts routiers, notamment pour les ponts portant des routes susceptibles d'être régulièrement traitées par des fondants chimiques en hiver. L'augmentation du poids des véhicules et des contraintes dans le béton et ses armatures, associée à des conceptions de ponts plus légers, nécessite de plus en plus des mesures de protection contre les dommages des tabliers de ponts. Les structures, tant en béton armé qu'en béton précontraint, sont susceptibles d'être corrodées et nécessitent une protection.

Une étanchéité efficace présente l'avantage supplémentaire d'éviter la pénétration d'eau à travers le tablier, ce ruissellement présentant une nuisance pour les piétons et autres usagers qui circulent sous le pont, particulièrement en période de gel. Elle empêche, d'autre part, la formation de taches peu esthétiques et celle de stalactites ou de dépôt de carbonate (voir figure 1). Ainsi donc, l'étanchéité constitue un des éléments essentiels du système de drainage du tablier.

Pour les raisons précitées, le présent rapport repose sur la conviction qu'il est essentiel de prévoir une chape d'étanchéité efficace destinée à protéger les tabliers de pont lorsque le climat hivernal est froid et humide et, particulièrement, lorsque les fondants chimiques sont utilisés fréquemment.

La méthode générale d'étanchéité consiste à appliquer un matériau d'étanchéité sur la surface du béton structurel du tablier. On dispose d'une grande variété de matériaux comprenant des matériaux bitumineux et non-bitumineux ayant une épaisseur variant entre 0,2 et 20 mm. Les six caractéristiques principales du matériau d'étanchéité sont d'être imperméable, d'être suffisamment résistant afin de ne pas être endommagé pendant la construction, d'être durable, de présenter une bonne stabilité mécanique dans une large gamme de températures de manière à assurer une base compatible avec les efforts transmis par le revêtement routier, de résister à la fissuration qui peut se produire dans le béton et d'être compatible avec les autres matériaux utilisés dans la construction des tabliers. Pour simplifier la description, dans le cadre du présent rapport les matériaux sont classés comme suit :

- (i) chapes d'étanchéité en asphalte.
- (ii) feuilles préfabriquées (y compris les feuilles rigides et flexibles).
- (iii) couches adhérentes minces (tels que les matériaux à base de résine époxy, de polyuréthane et de matériaux similaires).

Des matériaux nouveaux par leur nature ou leur présentation sont maintenant disponibles dans le commerce, mais, avant de les utiliser sur les tabliers de pont, il convient de les analyser avec précision en fonction des impératifs décrits ci-dessus, et, si ces matériaux se révèlent satisfaisants, de les essayer sur le terrain, sur un pont de petite dimension, avant de les accepter pour un emploi généralisé.

Il est difficile de poser une chape d'étanchéité efficace sur un pont de béton de finition grossière et il est nécessaire de préciser, d'une part la tolérance du profil de la surface et, d'autre part, de définir la texture superficielle adaptée au matériau d'étanchéité. En résumé, il importe d'accorder une attention plus grande à la finition des tabliers en béton tant au stade de l'étude qu'à celui de la construction.

Le présent rapport examine les conditions requises d'une chape d'étanchéité efficace, décrit les systèmes disponibles et rend compte de leur utilisation dans différents pays. Après avoir procédé à une évaluation critique des différents systèmes, le rapport présente des conclusions et des recommandations relatives aux futures recherches.

Figure 1 : Formation de stalactites



EXIGENCES POUR UN SYSTEME D'ETANCHEITE EFFICACE

L'introduction a fait ressortir la nécessité de protéger les structures de ponts coûteuses contre les dégâts dûs à la pénétration d'eau. L'expérience a démontré que les systèmes d'étanchéité et le béton sur lequel elles sont posées doivent satisfaire à certaines conditions pour assurer les résultats recherchés (4, 5, 6, 7). Ces conditions sont examinées individuellement ci-dessous. Il convient de noter que le respect de ces conditions doit en principe assurer l'efficacité du système ; cependant, on ne dispose, par suite du manque d'expériences à long terme, d'aucune donnée permettant de prévoir la durée du système avant d'exiger un renouvellement du traitement d'étanchéité.

II.1. Spécifications des systèmes et matériaux d'étanchéité

Les spécifications relatives aux propriétés des matériaux utilisés dans les systèmes d'étanchéité et les spécifications relatives au système d'étanchéité dans son ensemble (en tant qu'élément de l'ensemble de l'étanchéité et du revêtement du tablier), sont étroitement liées. Pour plus de commodité et afin d'éviter les répétitions, les deux types de spécifications seront considérés conjointement dans les paragraphes suivants.

- (1) Imperméabilité : l'intégralité du système doit être imperméable à l'eau sous toutes conditions, y compris les fortes pressions transitoires dûes au trafic, provoquées par l'absorption de l'eau dans les vides du béton. Les joints d'expansion du tablier doivent être également imperméables à moins qu'ils ne soit prévu d'utiliser des joints ouverts situés au-dessus de canaux de drainage exigeant un entretien régulier.
- (2) Propriétés mécaniques du système d'étanchéité : le système d'étanchéité isole le revêtement qui supporte les charges de trafic, de la structure du pont. Les matériaux d'étanchéité doivent donc, non seulement remplir leur rôle essentiel qui est d'assurer une étanchéité efficace, mais également posséder des propriétés mécaniques assurant un support stable au revêtement quels que soient les efforts exercés par la circulation (c'est-à-dire, les efforts verticaux de compression et les efforts horizontaux de cisaillement). Les propriétés mécaniques doivent demeurer satisfaisantes dans toute la gamme des températures pouvant exister dans le tablier, cette condition étant particulièrement importante lorsque l'on utilise des couches épaisses d'étanchéité (plus de 4 - 5 mm).

Dans le cas d'utilisation de matériaux d'étanchéité non bitumineux, il est parfois nécessaire d'utiliser une couche de matériaux adhésifs ou collants afin d'empêcher tout glissement le long de l'interface par suite des efforts latéraux de cisaillement. L'appendice A traite de la fonction de l'étanchéité en tant que chape d'isolement entre le revêtement et le tablier du pont.

- (3) Résistance à la rupture au droit des fissures des tabliers : après sa pose sur le tablier, la chape d'étanchéité doit pouvoir résister, sans rupture, à toute fissuration pouvant se produire dans le béton. A cet égard, les fissures dûes aux charges de la circulation et aux effets thermiques constituent le principal problème : elles sont principalement susceptibles de se produire dans les tabliers en béton armé posés de façon continue sur leurs supports ou construits en porte à faux. Ces fissures peuvent s'ouvrir et se fermer, ce mouvement répété tendant à élargir la fissure et, éventuellement, à engendrer des efforts de fatigue dans les matériaux d'étanchéité. Il est important de prévoir une étanchéité efficace au droit des fissures du fait que l'armature étant normalement conçue pour empêcher que les fissures ne dépassent une certaine largeur limite (8), il est nécessaire d'empêcher que l'eau et les sels ne pénètrent dans les fissures et par suite, n'aient une action corrosive sur les armatures. La résistance de la couche d'étanchéité à la rupture au droit des fissures doit donc être évaluée au moyen d'un essai tel que celui qui est décrit à l'Appendice B.

Les fissures existant avant l'étanchéité et dûes au retrait du béton ou à l'action de la masse même de la structure, présentent généralement peu de déplacement. Du fait qu'elles sont généralement présentes avant la mise en oeuvre de l'étanchéité, ces fissures peuvent être colmatées au moment de l'étanchéité.

- (4) Durabilité : il est essentiel que le système d'étanchéité présente une bonne tenue dans le temps du fait du coût et de l'importance des travaux qu'entraîne une nouvelle étanchéité. Les matériaux utilisés ne doivent présenter aucun des désavantages du vieillissement tels que fragilité accrue, et doivent résister à l'exposition aux solutions salées, ou aux sulfates lorsque le revêtement hydrocarboné contient des agrégats de laitier. Les couches métalliques minces ou les armatures de la chape d'étanchéité doivent être protégées contre la corrosion, et dans le cas de l'aluminium, contre les risques de détérioration dûs à la présence de chaux dans le béton.
- (5) Compatibilité avec les autres matériaux : les tabliers de ponts en béton, les différents matériaux d'imperméabilisation ainsi que les revêtements hydrocarbonés doivent être physiquement et chimiquement compatibles les uns avec les autres. En particulier, il ne faut pas qu'il y ait perte de l'étanchéité par contact avec les matériaux à haute température pendant la pose du revêtement. Dans le cas des revêtements hydrocarbonés d'une épaisseur de 50 à 60 mm, posés à une température de 140° C à 160° C, les mesures indiquent que la température, au sein de la chape d'étanchéité, peut atteindre, et garder pendant environ 10 minutes, une valeur de 120° C avant de retomber progressivement à 40 ° C au cours des quatre heures suivantes. Une des autres conditions stipulées pour les couches préfabriquées est de pouvoir supporter le contact des adhésifs à haute température, celle-ci pouvant atteindre 240° C avant coulée.
- (6) Facilité de mise en oeuvre : le processus d'étanchéité consiste à appliquer une mince couche d'étanchéité sur une grande surface de tablier, dans les conditions d'un chantier en plein air. Les conditions dans lesquelles l'étanchéité est réalisée exigent des spécifications complémentaires, à savoir :

- a) Le matériau doit être adapté à la pose sur des tabliers de ponts, les conditions de chantier étant ce qu'elles sont. Bien qu'on devrait exiger un support béton absolument sec et hors poussière, les matériaux d'étanchéité doivent avoir une certaine tolérance d'application vis-à-vis des conditions de chantiers, c'est-à-dire l'humidité et la poussière afin d'assurer l'efficacité ultérieure des matériaux d'étanchéité.
- b) Le matériau d'étanchéité doit être suffisamment robuste pour résister au risque de détérioration au cours des travaux de construction entrepris sur le pont. En particulier, la chape d'étanchéité devrait être capable de résister à l'enfoncement des pierres anguleuses sous le poids des engins de chantiers, ainsi et surtout qu'aux engins de mise en oeuvre de la couche de roulement. Les matériaux disponibles présentent des différences considérables en ce qui concerne leur tenue mécanique, mais, à cet égard, leurs propriétés peuvent être évaluées par un test d'impact (4) tel que décrit à l'Appendice B.
- c) Les matériaux doivent être adaptés à la pose sous température extérieure, sous abri, d'au moins 4°C. Bien que certains matériaux puissent être mis en oeuvre à des températures inférieures, cette pratique n'est pas recommandée du fait que la formation de verglas sur la surface du tablier peut entraîner la formation de poches d'eau sous la chape d'étanchéité. Il est normalement peu pratique de mesurer sur chantiers les températures dans les tabliers de ponts : c'est pourquoi on indique une température extérieure sous abri qui doit normalement assurer l'absence de verglas sur les surfaces du béton de la structure.
- d) Le matériau doit être adapté à la mise en oeuvre par des équipes possédant un minimum de spécialisation.
- e) Le matériau doit être résistant au cloquage, sous réserve que des précautions soient observées, telles que pose sur un tablier sec, application des revêtements sur la chape d'étanchéité dans les délais les plus rapides et, le cas échéant, l'aménagement de couches de décompression.

Nota : L'installation de tout système d'étanchéité exige un contrôle minutieux, à tous les stades, une technique précise et un soin particulier dans tous les détails. Les matériaux, même les plus robustes, sont incapables de résister à la détérioration sous toutes conditions ; en conséquence, il importe d'imposer une certaine restriction concernant l'utilisation du tablier aux fins des travaux de construction, pendant la période entre la pose de l'étanchéité et la pose de la première couche du revêtement hydrocarboné. Ces restrictions peuvent stipuler que la surface étanchée est maintenue en état de propreté, dégagée de toute pierraille, et, voire même, préciser que seul le passage de véhicules et d'engins chaussés de pneumatiques est autorisé. Il importe d'interdire tout stationnement de matériel ou de matériaux sur la chape d'étanchéité, ainsi que tous travaux susceptibles d'endommager cette dernière. .

En condition de chantier, lorsqu'il est difficile d'assurer un contrôle strict de toutes les opérations, il est recommandé d'une part, de choisir un matériau robuste, et d'autre part, d'imposer les restrictions indiquées ci-dessus. Ceci constitue, dans la pratique, le seul moyen de réduire les risques de perforations à un niveau acceptable.

II.2. Spécifications relatives aux tabliers de ponts en béton

Les tabliers de ponts en béton doivent répondre aux conditions suivantes :

- (1) Présenter une finition de surface précise, ne présentant pas de dépression ni d'aspérités verticales anormales.
- (2) La texture superficielle doit être adaptée aux matériaux d'étanchéité utilisés.
- (3) Toutes les bordures en béton destinées à être étanchées doivent être relevées sur un rayon minimum de 40mm. Les angles rentrants doivent être "arrondis" par un remplissage de béton à 45°.
- (4) Le béton de surface doit être fiable et de bonne qualité. Il ne doit contenir aucune laitance de ciment ni aucune zone poreuse ou cellulaire.
- (5) La surface ne doit contenir aucun matériau susceptible de déformer la chape d'étanchéité et ne présenter aucun risque de contamination due à la présence de produits pétrochimiques et autres.
- (6) Le béton doit présenter une grande propreté (c'est-à-dire qu'il doit être bien balayé, bien qu'en principe, la présence de poussière soit tolérable) et doit être sec (c'est-à-dire ne présenter aucune humidité superficielle) au moment de l'application du matériau d'étanchéité.
- (7) Dans le cas où la finition superficielle ne satisferait pas aux conditions de (1) ci-dessus, la surface doit être rectifiée par rabotage du béton. On peut, à la rigueur, procéder au planage par bouchardage mais la texture ainsi que la tendance à la fissuration qui en résulte rendent cette méthode moins acceptable. Le colmatage des dépressions au moyen de mortier de ciment et d'époxy n'est pas recommandé, sauf en cas de dépressions importantes et à condition d'appliquer les procédures recommandées avec la plus grande attention.

III

MATERIAUX ET SYSTEMES D'ETANCHEITE

Le présent chapitre décrit les différents matériaux et systèmes utilisables pour l'étanchéité des tabliers de ponts en béton lorsque le tablier est destiné à recevoir un revêtement hydrocarboné. Le système d'étanchéité peut comprendre certains ou tous les composants suivants :

- couche de fermeture et d'accrochage appliquée à la surface du béton (après préparation éventuelle de cette surface),
- couches de décompression (pour empêcher le cloquage ou bullage), parfois équipées de tubes de ventilation,
- couches d'accrochage (destinées à fixer la couche d'étanchéité au tablier),
- couches d'étanchéité,
- couches de protection (destinées à protéger la couche d'étanchéité au cours des travaux de construction),
- caniveaux de drainage et tubes d'évacuation,
- raccords au droit des bordures, des parapets et des joints de chaussées.

Aucun matériau d'étanchéité n'est à l'abri du cloquage, et c'est pourquoi des couches de décompression peuvent être prévues pour empêcher un tel phénomène de se produire. Ces couches constituent un des éléments essentiels de certains systèmes d'étanchéité. C'est pourquoi, nous nous proposons d'aborder en premier lieu, dans ce chapitre, le problème du cloquage (et du bullage) et de sa prévention. Nous examinerons ensuite les matériaux d'étanchéité, sous les titres suivants :

Matériaux d'étanchéité hydrocarbonés (posés à chaud)

Feuilles préfabriquées

Films d'étanchéité.

La nécessité d'une couche d'accrochage (primer), d'une couche adhésive ou d'une couche de protection est fonction du type de matériaux d'étanchéité utilisé. Il en va de même du choix du type de couche à adopter. C'est pourquoi, nous examinerons, aux paragraphes III.2. à III.4., ces différents produits en fonction des différents matériaux d'étanchéité. Nous discuterons, en dernier lieu, des problèmes concernant les caniveaux de drainage et les tubes d'évacuation ainsi que de l'étanchéité au droit des bordures, des parapets et des joints (paragraphes III.5. et III.6.).

III.1 - Formation et prévention du cloquage dans la couche d'étanchéité

III.1.1 Cloquage

Le cloquage d'une couche d'étanchéité préfabriquée ou non est un phénomène relativement courant bien que rare dans le cas d'utilisation de films adhérents. On note deux types de cloquage, à savoir ceux de "première génération" et ceux de "seconde génération".

Le cloquage de "première génération" (bullage) peut être dû aux bulles qui, dans les matériaux posés à chaud, remontent au travers de la couche pendant la pose de cette dernière. Le bullage est généralement dû à la vaporisation de l'humidité de la surface du béton au contact de matériaux à haute température. Dans la mesure du possible, il importe d'éliminer les cloques en "retravaillant" le matériau tant que celui-ci est encore chaud. Tout cloquage ou bullage encore présent peut être colmaté par application d'une couche bitumineuse de forte densité et à granulométrie discontinue, coulée à chaud, telle que le "gussasphalt" (voir également paragraphe sur les couches de protection au paragraphe III.2.2). L'application d'une seconde couche de matériau d'étanchéité coulée à chaud n'est pas nécessairement efficace, probablement du fait que la chaleur dégagée par cette couche ramollit la couche inférieure, ce qui fait que les bulles dégagées remontent librement au travers de la seconde couche, sans être "ralenties" par les gravillons, ce qui peut éventuellement former de nouvelles cloques.

On peut éviter la formation de cloques de "première génération" en utilisant une couche de décompression comme décrit au paragraphe III.1.2 ci-dessous. On peut éventuellement réduire l'incidence du cloquage en appliquant les matériaux sur un revêtement en béton préalablement fermé avec une émulsion bitumineuse cationique ou avec un "primer" à base d'alcool.

Le cloquage de "seconde génération" peut intervenir pendant la période entre la pose de la chape d'étanchéité et la fin des travaux de revêtement. Ce risque est plus particulièrement à craindre pendant les périodes ensoleillées, quelques semaines avant et après le solstice d'été. L'intensité du rayonnement solaire est alors très élevée et engendre des températures élevées pendant la journée ainsi que des variations importantes de la température diurne dans les matériaux d'étanchéité. Ces conditions sont favorables au cloquage du fait que les variations de température diurne entraînent une migration de l'humidité très forte dans le tablier en béton, vers le haut, c'est-à-dire vers la base de la couche d'étanchéité. Les températures élevées peuvent alors engendrer une pression de vapeurs suffisamment importante pour décoller la couche d'étanchéité aux points où sa liaison avec le béton n'est pas suffisamment forte. Une fois la cloque formée, les variations de température diurne font gonfler la cloque pendant le jour. La forme voûtée de la cloque, associée à une augmentation de la rigidité du matériau avec l'abaissement de la température, fixe le volume de la cloque. Elle met en dépression et "pompe" de l'humidité à travers le béton. Le cycle est amorcé. Les matériaux d'étanchéité qui assurent une couche de meilleure rigidité aux températures élevées sont donc moins susceptibles au cloquage que les couches qui présentent une plus grande flexibilité, du fait que ces dernières offrent une moindre résistance à la déformation pendant la formation de la cloque. Le risque de cloquage de "seconde génération" peut donc être réduit à des proportions acceptables grâce aux mesures suivantes :

- a) assurer une adhésion satisfaisante et uniforme entre la couche d'étanchéité et le tablier ;
- b) pose de la couche d'étanchéité sur une surface en béton parfaitement sèche ;
- c) recouvrir la couche d'étanchéité d'une couche de protection et/ou d'un revêtement d'une épaisseur minimum de 50mm, dans les trois jours qui suivent la pose et terminer les travaux de revêtement le plus rapidement possible.

Une surface de béton bien sèche assurera une protection temporaire contre le cloquage jusqu'à ce que l'humidité atteigne la partie inférieure. Si, lorsque ceci se produit, le revêtement est déjà posé, les effets conjugués de l'isolation thermique assurés par le revêtement et de la charge appliquée par ce dernier

réduiront les risques de cloquage. Ce risque diminuera en fonction inverse de l'épaisseur du revêtement, jusqu'à une épaisseur de 100 mm, épaisseur qui assure une efficacité quasi-totale.

En pratique, il est généralement difficile de prévoir un programme de travail sur chantier qui assure la pose d'une épaisseur suffisante de matériau hydrocarbonés avant l'amorce de cloquage. Si l'humidité a atteint la couche inférieure de l'étanchéité, il se peut qu'en plus du cloquage dû au rayonnement solaire, la chaleur dégagée par les matériaux de revêtement posés à chaud suffise à accroître le cloquage.

L'expérience a démontré que le risque de cloquage de "seconde génération" était réduit à un niveau acceptable en prévoyant des couches de décompression comme décrites ci-dessous.

III.1.2 Couches de décompression

Ces couches sont utilisables avec les matériaux d'étanchéité hydrocarbonés ou les feuilles préfabriquées mais ne peuvent être utilisés avec des films minces adhérents.

Le but des couches de décompression est d'empêcher la formation de pressions au-dessous de la chape d'étanchéité en permettant à l'air et à la vapeur d'eau de se disperser. Ceci empêche la formation de cloquage de "première génération" lors de la pose de matériaux d'étanchéité à chaud, et surtout de cloquage de "seconde génération" dans les couches d'étanchéité déjà posées, pendant les périodes de temps chaud ou encore par suite de l'échauffement occasionné par la pose à chaud de matériaux de revêtement.

Les couches de décompression comprennent, en général, soit un film en tissu de fibres de verre (d'environ 50 g/m²), soit une armature de fibres de verre ou encore un feutrage hydrocarboné perforé et revêtu d'une couche adhérente de granulats fins (voir figure 2a). D'autres matériaux parfois utilisés sous une couche d'asphalte pur sont constitués soit par du papier huilé ou une pulvérisation de chaux, de ciment ou de sable fin. Des tubes permettant le dégagement dans l'atmosphère de la pression éventuellement formée dans la couche de décompression sont parfois installés. Un système de ce type utilisé en Allemagne comporte des tubes d'un diamètre de 10 à 20 mm. Ce système est illustré à la figure 2b(9).

Des couches de décompression peuvent être constituées en plaçant un film ou une armature de fibres de verre ou un feutrage perforé d'asphalte recouvert de petits granulats (avec les granulats disposés vers le bas) sur la surface de béton préparée. La couche d'étanchéité hydrocarbonée posée à chaud ou l'adhésif bitumineux chaud (dans le cas de couches préfabriquées) est ensuite étendu sur le matériau de décompression. Dans le cas d'une armature de fibres de verre ou de feutrage perforé, la couche d'étanchéité hydrocarbonée ou le matériau adhésif assure la liaison sur le béton par les interstices du matériau de décompression. Lorsqu'on utilise un film mince de fibres de verre, la liaison s'effectue mécaniquement avec la texture du revêtement en béton. Le matériau de décompression assure un passage suffisant pour assurer le dégagement de la pression.

Les couches de décompression comportent deux inconvénients majeurs. Tout d'abord du fait que la couche d'étanchéité est en partie décollée du tablier, la résistance aux cisaillements (causée par l'accélération, le freinage ou la force centrifuge) est réduite. Il n'est donc pas question d'utiliser de telles couches sur des ponts en pente importante ou proches d'une intersection de routes, par exemple sur les rampes d'accès ou de sorties des voies surélevées.

Figure 2a : Pose de la couche de décompression

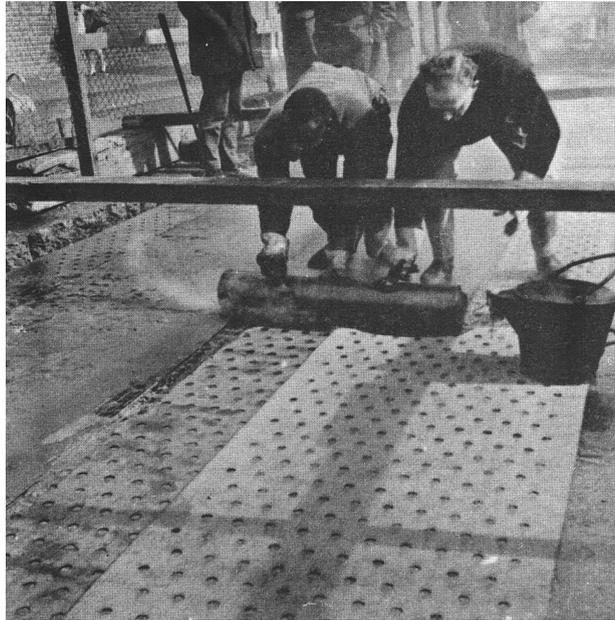
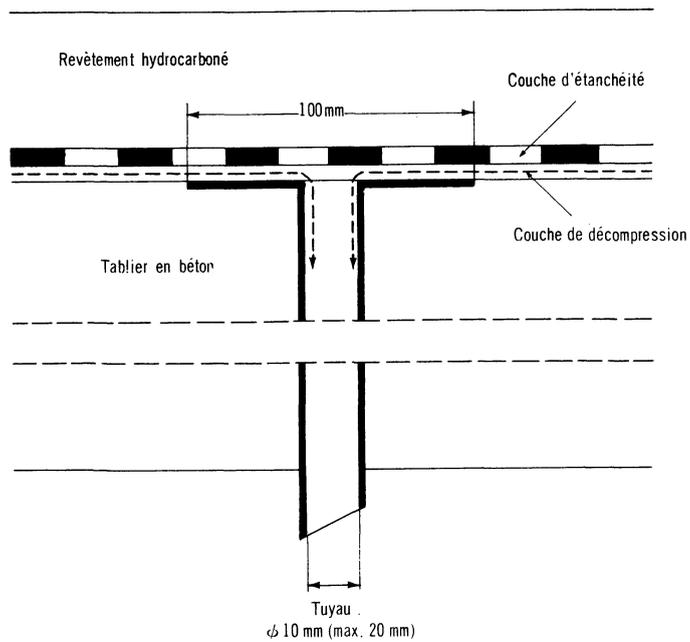


Figure 2b : Couche de décompression et tuyau vertical d'évacuation (système utilisé en Allemagne (9))



En second lieu, la couche de décompression peut permettre à l'eau de s'étendre à partir d'une perforation de la couche d'étanchéité jusqu'à ce qu'elle atteigne une fissure ou une zone poreuse du béton.

Les couches de décompression ne sont pas toujours suffisantes pour empêcher le cloquage surtout de première génération et les inconvénients précités, ainsi que le coût supplémentaire de leur installation soulignent la nécessité d'un système d'étanchéité qui soit à l'abri du cloquage.

III.2 Chape d'étanchéité en asphalte

III.2.1 Description

Un certain nombre de matériaux d'étanchéité hydrocarbonés sont utilisés. Il s'agit, dans l'ordre, de :

- (i) chape d'étanchéité en asphalte pur et couche de protection en "gussasphalt" (béton bitumineux coulé),
- (ii) chape d'étanchéité en asphalte pur contenant du caoutchouc et couche de protection constitué par un mélange à granulométrie discontinue ("stone filled asphalt"),
- (iii) deux couches en asphalte pur.

III.2.2 Chape d'étanchéité en asphalte pur et couche de protection en "gussasphalt" (conformément à une technique utilisée en Allemagne (9, 10, 11)).

Préparation du tablier en béton. Ce tablier doit se conformer aux conditions stipulées au paragraphe II.2. Le profil du tablier doit permettre l'évacuation de toute eau superficielle du fait que le drainage de la totalité de la surface du tablier, au cours de la construction, est absolument impératif. Tous les caniveaux doivent comporter des orifices d'évacuation ou des fentes au niveau des couches provisoires terminées.

Couches de décompression. La couche de décompression comprend une couche de feutre de verre d'une densité de 40 à 50 g/m², posée en rouleaux de 50 à 250 m de longueur et d'un mètre de largeur. Ces couches sont posées directement sur la surface de béton qui doit être propre et parfaitement finie. La couche de décompression empêche le cloquage (paragraphe III.1.2). Des tuyaux verticaux d'évacuation (de 10 à 20 mm de diamètre) sont prévus aux points bas du tablier afin de permettre la détente de toute pression créée dans la couche de décompression. Si, ultérieurement, des écoulements se produisent dans ces tuyaux, ceci signale des dégâts dans le revêtement ou la couche d'étanchéité du tablier.

Asphalte pur (asphaltmastix). L'asphalte pur assure l'étanchéité. Il est placé en couches de 8 à 10mm d'épaisseur, sur la couche de décompression. La composition utilisée en Allemagne est la suivante (en pourcentage de poids) :

Bitume		13 à 16 %
Agrégats minéraux		87 à 84 %
0	- 0,09 mm	> 30 % (éventuellement 40 %)
2	- 5 mm	< 10 %
0,09	- 2 mm	pour le reste
		} 100 %

Conditions d'essais

Point de ramollissement (bille et anneau) du bitume extrait	49 - 65°C
Point de ramollissement (Wilhelmi) de l'asphalte pur fini selon DIN 1996/15	90 - 120°C
Point de ramollissement (bille et anneau) du mélange filler (0,09mm) et du bitume (quantité définitive de bitume)	85 - 90°C
Température de pose	180 - 200°C
Température de l'air et du tablier	≥ + 5° C

L'asphalte pur peut être posé manuellement ou par épandage mécanique. On préfère la première méthode du fait qu'elle assure une couche d'épaisseur plus constante.

La zone étanchée avec de l'asphalte pur doit être protégée pendant la pose afin d'empêcher la pénétration des eaux superficielles par ses bords exposés. Cette protection est réalisée en posant, directement sur le tablier en béton, une bande provisoire d'asphalte pur de 200 mm de largeur, sans utiliser une couche de fibres de verre. On retire cette bande dès que la zone contigüe est étanchée pour la remplacer par une couche d'asphalte pur posé, comme il se doit, sur de la toile de feutre de verre. Le matériau ainsi retiré peut être réutilisé, s'il n'a pas été trop souillé.

Couche de protection. Le "gussasphalt" devrait être posé immédiatement après la couche d'asphalte. La couche de protection peut jouer un certain rôle complémentaire de couche de nivellement.

La couche d'étanchéité en asphalte pur doit donc être protégée par une couche de "gussasphalt" pour prévenir l'éventualité (dans une couche unique et relativement peu épaisse de matériaux d'étanchéité) de fuites causées par la présence de porosités ou de perforations causées par la pression soudaine de vapeur qui se produit lors de la pose à chaud d'asphalte pur. Ces perforations sont très fines et passent souvent inaperçues. Le "gussasphalt" constitue un matériau imperméable ; en effet, il contient un excédent de liant hydrocarboné et se pose à haute température, à l'état liquide. La chaleur dégagée par le "gussasphalt" a un effet bénéfique en ce sens qu'il ferme, par fusion, toutes les perforations de la chape d'étanchéité.

On a ainsi, un système de deux couches imperméables et intimement liées, à savoir les couches d'étanchéité et de protection. Les caractéristiques concernant le "gussasphalt" sont les suivantes :

Epaisseur de la couche de protection	30 à 35 mm
Composition (en pourcentage de poids)	
Bitume	7 à 9 %
Agrégats minéraux	93 à 91 %
0 - 0,09 mm	22-30% (éventuellement 25%)
2 - 12 mm	> 35 % (éventuellement 40 %)
0,09 - 2 mm	pour le reste
	} 100 %

Conditions d'essais :

Point de ramollissement (bille et anneau) du bitume	55 - 65°C
Pénétration du "gussasphalt" fini	2 - 6 mm
Température de pose	220 - 240°C

Couche de roulement. On utilise une couche de roulement comprenant au minimum 30 mm à 35 mm de béton bitumineux ou, mieux, du "gussasphalt".

III.2.3 Couche d'étanchéité en asphalte pur contenant du caoutchouc et couche de protection constituée d'un mélange hydrocarboné à granulométrie discontinue (stone filled asphalt)

(Conformément à une technique utilisée en Espagne) (5, 12)

"Primer" (couche de fermeture et d'accrochage). L'application d'un "primer" assure une bonne adhérence entre l'asphalte caoutchouté de la chape d'étanchéité et le tablier en béton (préparé comme stipulé au paragraphe II.2.). Le "primer" doit se composer d'un liant à base de bitume et convenablement liquéfié. Le liant ne doit contenir aucun filler minéral mais comporter des additifs destinés à améliorer l'adhérence et la résistance à la chaleur. Il est préférable d'utiliser des liants qui peuvent être appliqués aux basses températures.

Nous n'émettons ici aucune recommandation spécifique quant aux types de "primer" à utiliser, du fait de la gamme de liants économiques et efficaces disponibles sur le marché. Si, toutefois, on avait des doutes quant à la compatibilité du produit, il conviendrait de procéder à un essai.

Il existe dans certains pays des matériaux "primer" conçus spécialement pour l'utilisation sur tablier de ponts. A titre d'exemple, la composition d'un de ces produits s'établit comme suit :

50 % bitume 80/100 (dont 1 % de caoutchouc en poudre)
50 % solvant léger.

Cette composition est similaire à celle d'un bitume fluidifié à séchage rapide (RC-0). Les produits de ce type ainsi que les émulsions (plus particulièrement celles avec une vitesse de rupture rapide ou semi rapide) conviennent aux utilisations sur tablier de ponts.

Le "primer" doit être appliqué de manière à ce qu'il soit uniformément répandu sur la totalité de la surface du tablier. Après le séchage, la couche de liant ne doit pas avoir plus de 0,5 mm (0,5 litres/m²).

Couche d'étanchéité. On pense, dans certains pays, que l'utilisation d'une chape d'étanchéité en asphalte pur contenant du caoutchouc améliore la tenue du revêtement en servant de couche isolante entre le revêtement et le tablier. La couche isolante jouerait alors le rôle de tampon entre les charges de circulation et le support rigide. Cet aspect de l'étanchéité sera discuté plus en détails à l'Appendice A.

Une composition adéquate d'un asphalte pur contenant du caoutchouc est la suivante :

Chaux ou autres fillers	70 à 75 % du poids
Bitume 80/100 à 60/80	30 à 25 % du poids
dont Caoutchouc	1,3 à 1,8 % du poids

Ce mélange ne doit pas contenir de sable ni d'autres matériaux qui donneraient au mélange des propriétés d'un matériau chargé en gros granulats.

Le mélange est effectué de telle manière que l'on obtienne un point de ramollissement ("bille et anneau") entre 85° et 115° avant l'adjonction de caoutchouc et entre 90° à 125° après. L'asphalte pur devrait être solide aux températures basses et en aucun cas comporter des grumeaux ou être hétérogène. Il devrait être employé entre 200° et 220°.

La couche d'étanchéité devrait, en général, être placée à chaud. Elle ne doit pas avoir une épaisseur supérieure à 5 mm ou inférieure à 3 mm. Dans la plupart des cas, il conviendra de prévoir une couche de décompression pour éviter le cloquage. Cette couche peut être formée d'une toile de fibres de verre, de papier kraft ou de tout autre matériau approprié placé entre le primer et la chape d'étanchéité (voir paragraphe III.1.2). Les toiles de fibres de verre en mailles de 50 mm par 50 mm conviennent à cet emploi.

Revêtement. Une couche de base ouverte ou semi-ouverte revêtue d'une couche de roulement dense constitue un revêtement approprié sur les chapes d'étanchéité en asphalte pur caoutchouté. L'épaisseur totale des deux couches doit être de 5 à 7 cm.

III.2.4 Chapes d'étanchéité en asphalte pur

(Conformément aux techniques utilisées dans le Royaume-Uni).

Description. L'asphalte pur utilisé pour ces chapes est composé de matériaux minéraux de dosage approprié et de bitume (mélange bitume/granulats fins). Les composants sont dosés de manière à donner une masse imperméable, uniforme et ne présentant aucun vide. Cette masse est solide ou semi-solide aux températures normales et devient suffisamment fluide aux environs de 180° à 200°C pour permettre le répandage à la main. Le liant est généralement composé de bitume fluidifié par addition d'huiles volatiles, de bitume naturel ou d'un mélange des deux matériaux.

Matériaux. Le bitume doit avoir une pénétration de 25 à 50, à 25°C et un point de ramollissement (bille et anneau) de 50 à 70°C. Pour l'étanchéité des tabliers de ponts on utilisera de la chaux comme agrégat minéral (en granularité de 3mm ou passant le tamis N° 25) et du filler passant (tamis N° 25* et 200*).

Deux types d'asphalte pur sont utilisés avec les compositions suivantes :

Bitume	$\left\{ \begin{array}{l} 11 \text{ à } 13,5 \% \\ 62,5 \text{ à } 77 \% \\ 12,0 \text{ à } 24,0 \% \\ 30 \text{ à } 70 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 12,0 - 15,0 \% \\ 67,0 - 84 \% \\ 4,0 - 18,0 \% \\ 40 - 90 \end{array} \right.$
Filler (calcaire)		
Granulat calcaire (i)		
Indentation à 25°C (à la pose)		

Les caractéristiques complètes concernant le matériau (i) sont données par la norme BS.988(13) et celles qui concernent le matériau (ii) par la norme BS.1097(13) (modifié par une limite supérieure d'indentation de 90).

* tamis N° 25 $\hat{=}$ 0,600 mm ; tamis N° 200 $\hat{=}$ 0,075 mm

Mise en oeuvre. L'asphalte pur doit être posé sur un tablier de pont conformément aux conditions stipulées au paragraphe II.2. Il sera disposé en deux couches de 10 mm d'épaisseur chacune et les joints dans ces couches seront décalés de 150 mm. Actuellement, l'asphalte pur est normalement étendu à la main. Il convient de veiller à ce que toute trace de cloquage ou de bullage formée au moment de la pose soit immédiatement éliminée en retravaillant le matériau.

III.3 Feuilles d'étanchéité préfabriquées

(Conformément aux techniques utilisées dans le Royaume-Uni) (4, 14)

Description. Une large gamme de feuilles d'étanchéité préfabriquées est disponible dans le commerce. Néanmoins, seuls les types qui se conforment aux conditions stipulées au Chapitre II conviennent à l'étanchéité des tabliers de ponts. Ces différents types peuvent être classés comme suit :

- (i) feuilles de bitume (feutre),
- (ii) feuilles de bitume sur support métallique,
- (iii) feuilles de caoutchouc synthétique ou caoutchouc-feutre bituminé,
- (iv) feuilles plastiques
- (v) feuilles en brai ou bitume-polymère
- (vi) feuilles de bitume rigides

Un grand nombre de feuilles préfabriquées sont armées de fibres hydrofuges et imputrescibles telles que les fibres de verre. Ces fibres coupées peuvent être incorporées dans le bitume afin d'en améliorer la stabilité ou encore des trames de fibres de verre peuvent être utilisées comme support.

L'épaisseur des feuilles de type (i) et (v) varie d'environ 1mm à 2mm. Ces feuilles sont souples et sont livrées en rouleaux d'environ 1m de large. Dans le cas du groupe (ii) on dispose d'un type de feuilles bitume-aluminium plus épais dans lequel la couche de bitume mou assure l'étanchéité et la feuille d'aluminium joue le rôle de barrière entre la couche de bitume mou et la couche hydrocarbonée du revêtement*. Le Groupe (vi) comprend un type de matériau plus rigide disponible en feuilles d'environ 6 à 12 mm d'épaisseur et mesurant 2 m x 1 m.

Pour tous les types, les feuilles préfabriquées sont collées au tablier. On utilise généralement un adhésif bitumineux à chaud, mais certains types de feuilles possèdent un film auto-adhésif à froid ou une couche de bitume mou qui, sous l'effet de la chaleur, assure l'adhérence au support.

III.3.2 La préparation du support en béton

Le support en béton doit être conforme aux conditions stipulées au paragraphe II.2. Il convient d'assurer une texture superficielle par brossage ou rabotage léger.

Il convient d'apprêter le support en béton en appliquant à la brosse, une couche de fermeture ou d'accrochage appropriée telle qu'un bitume à base d'alcool. Le brossage est recommandé du fait que son action contribue à "lier" les particules de poussière qui n'auraient pas été éliminées au préalable par balayage du support.

III.3.3 Pose des feuilles préfabriquées

Une fois la couche d'accrochage parfaitement sèche (c'est-à-dire de 12 à 24 heures après application), on place le rouleau de feuilles préfabriquées en position, prêt à être déroulé, et on répand, devant le rouleau, une certaine quantité d'adhésif hydrocarboné. On déroule ensuite la feuille préfabriquée tout en l'appuyant contre le support

*mis au point en France

et l'on ajoute de l'adhésif si nécessaire. La méthode la plus efficace consiste à maintenir une "onde" continue d'adhésif devant la feuille au fur et à mesure du déroulage, ce qui évite la formation de bulles d'air. Les feuilles garnies d'une couche auto-adhérente se posent de la même manière à cette exception qu'elles ne nécessitent pas une application séparée d'adhésif à chaud et que, par conséquent, le risque de bullage est important (voir paragraphe III.3.5 - feuilles de bitume-aluminium et tissus de polypropylène revêtus d'auto-adhésif). Les feuilles de bitume rigides sont posées sur une couche adhésive de bitume chaud et les joints entre feuilles sont colmatés au moyen de ce même adhésif (voir paragraphe III.3.5 - feuilles de bitume rigides).

L'adhésif hydrocarboné à chaud doit être compatible avec les matériaux utilisés dans les feuilles préfabriquées. Il doit être conforme aux recommandations du fabricant de feuilles. En l'absence de telles recommandations, on aura généralement intérêt à adopter un bitume oxydé ou un bitume-caoutchouc possédant les propriétés suivantes : point de ramollissement (bille et anneau) de 80 à 100°C et pénétration à 25°C de 20 à 30. Le point de ramollissement doit se situer à l'extrémité supérieure de la gamme stipulée lorsque le tablier est en pente.

III.3.4 Couche de protection

Les films minces d'étanchéité sont en général très vulnérables une fois posés sur leur support en béton. La majorité des feuilles préfabriquées d'une épaisseur inférieure à 6mm ont besoin d'être protégées pour éviter le risque de perforation au cours des travaux de chantier et pendant la pose de la première couche du revêtement. Il existe maintenant de nouveaux types plus résistants de feuilles préfabriquées sur lesquelles on peut poser directement la première couche du revêtement. Néanmoins, il est essentiel de s'assurer que la feuille présente une résistance mécanique suffisante du fait que la première couche contient jusqu'à 65 % de gros granulats d'une taille pouvant atteindre 30 mm et que ces pierres ou gravillons peuvent perforer la feuille pendant l'épandage et le compactage de la couche. C'est pourquoi, il convient éventuellement de prévoir une couche de protection.

Cette couche de protection peut consister en une épaisseur d'environ 20mm de sable enrobé à chaud ou d'une feuille armée, posée au-dessus de la chape d'étanchéité. Ce type de feuilles renforcées peut être composé par exemple, de feutre bitumineux revêtu de petits gravillons. La couche de protection doit être posée immédiatement après la pose du matériau d'étanchéité. Dans les régions où les pneus à clous sont utilisés, les revêtements hydrocarbonés sont sujets à une usure accélérée. Il peut donc être nécessaire de prévoir une couche de protection en béton pour empêcher toute détérioration de la chape d'étanchéité. Une couche en béton armé d'environ 50 mm s'est, semble-t-il, révélée efficace (voir également paragraphe V.3).

III.3.5 Cloquage des feuilles préfabriquées

Ce phénomène est malheureusement assez fréquent en période de temps ensoleillé vers la fin du printemps et pendant l'été. Si les feuilles préfabriquées doivent être posées pendant cette période, il peut être nécessaire de prévoir la pose d'une couche de décompression (voir le paragraphe III.1.2).

III.3.6 Types de feuilles préfabriquées

Les types suivants sont actuellement utilisés pour l'étanchéité des tabliers de ponts :

Feuilles en bitume/aluminium. Ces feuilles sont disponibles sous forme d'une membrane de bitume mou de 4 à 5mm d'épaisseur, armées de fibres de verre et appliquées sur

le tablier, la feuille d'aluminium servant de support. La pose s'effectue de la manière suivante : apprêter le support en béton, dérouler la feuille (la couche d'aluminium au-dessus) et chauffer de manière à ramollir le bitume et ainsi assurer l'adhérence au béton. Le bitume mou fond entre 80 et 100°C. On recouvre ensuite la feuille avec une couche d'asphalte coulé à granulométrie discontinue. Au cours de cette opération, la feuille d'aluminium protège le bitume mou contre tout dégât et l'empêche également de se mélanger avec l'asphalte. On évite les problèmes de stabilité normalement associés à l'utilisation du bitume mou en appliquant ce dernier en couches minces et uniformes (ce système a été mis au point en France).

Feutre bitumineux. Ces feuilles peuvent avoir un support en toile de jute, en fibres de verre ou en fibres d'amiante. Leur poids ne doit pas être inférieure à 3,8 Kg/m² et elles sont normalement appliquées sur le tablier en deux couches.

Feuilles en cuivre/bitume. Ce matériau comporte une feuille de cuivre d'une épaisseur d'environ 0,025mm, intercalée entre deux couches hydrocarbonées dont l'une est armée d'une trame en fibres de verre. Le poids est d'environ 3,5 Kg/m².

Feuillards en cuivre martelé. La feuille de cuivre d'une épaisseur d'environ 0,10mm est martelée afin d'en améliorer l'élasticité. Elle est garnie de bitume armé de fibres de verre. Ce type de matériau est de moins en moins employé du fait qu'il est plus coûteux que le type précédent (à feuilles de cuivre lisses) et aussi parce que la face supérieure exposée est trop vulnérable.

Feuilles en caoutchouc butyl. On utilise des épaisseurs de 1,1 et de 1,5mm, cette dernière épaisseur étant préférée. Son élasticité lui permet de colmater une fissure éventuelle et de s'adapter aux déplacements au droit des joints sous un revêtement continu. La liaison entre le caoutchouc butyl et les matériaux hydrocarbonés n'est pas bonne, et il est recommandé d'appliquer une couche de liant ou d'accrochage à la feuille, après la pose de cette dernière, afin d'éviter toute déformation ou glissement du revêtement hydrocarboné.

Feuilles en bitume/butyl. Une couche de 1,5mm composée d'une épaisseur de butyl et d'une épaisseur de feutre bitumineux, collées ensemble, la couche de butyl étant celle du dessus. Ensemble, ces deux couches collées présentent une meilleure rigidité qu'une simple couche de caoutchouc butyl, ce qui facilite la pose et l'ensemble est probablement moins vulnérable au cloquage. Il est recommandé, tout comme pour la pose d'une feuille simple de caoutchouc-butyl, d'utiliser une couche d'accrochage.

Feuilles en brai-polymère. C'est un matériau d'excellente tenue d'une épaisseur d'environ 1,9mm. Il est généralement armé de courtes fibres de verre et contient des plastifiants qui maintiennent la souplesse des matériaux pour les différentes températures de service d'un tablier de pont. Sous l'action de périodes prolongées à haute température, la migration des plastifiants peut ramollir l'adhésif bitumineux et, en conséquence, il est recommandé d'utiliser un bitume 115/15. Sous certaines conditions il peut être nécessaire d'utiliser une couche d'accrochage afin de renforcer la liaison avec le revêtement hydrocarboné.

Feuilles en bitume polymère. C'est un matériau d'excellente tenue d'une épaisseur d'environ 1,5mm. Il est armé de fibres synthétiques et garde toute sa souplesse aux différentes températures de service de tablier de ponts.

Tissus de polypropylène revêtus et auto-adhésifs. Il s'agit d'un tissu de polypropylène revêtu d'un bitume caoutchouté, destiné à servir de couche d'étanchéité adhésive. Une couche d'accrochage doit être appliquée au tablier avant la pose du matériau. Le revêtement du tablier doit présenter une texture relativement fine afin d'empêcher les occlusions d'air en cours de pose.

Feuilles rigides en bitume. Une feuille rigide et armée en bitume est composée d'une couche de bitume, de forte épaisseur, stabilisée avec de la fibre de verre, comprise entre une couche inférieure de tissus de verre et une couche supérieure de feutre d'amiante imprégnée de bitume. Le matériau est actuellement disponible en feuilles de 1,8 m par 0,9 m et d'une épaisseur totale de 12mm. Les feuilles sont posées sur un adhésif bitumineux et sont jointes bord à bord. L'obturation des joints est normalement réalisée au cours du processus de pose normal et les joints sont ensuite recouverts d'une bande de bitume à armature en fibres de verres large de 225 mm. Le matériau est disponible en épaisseur globale de 6,3 mm. Il n'est pas nécessaire de prévoir une couche de protection sauf dans le cas d'un revêtement mince à simple couche.

Les matériaux énumérés ci-dessus ne comprennent que ceux dont il a été fait une assez large utilisation au cours des dernières années pour l'étanchéité des tabliers de ponts. D'autres types sont également disponibles et il est probable que de nouveaux types seront bientôt mis au point et avant que leur utilisation devienne généralisée, ces produits devront être évalués en fonction des critères indiqués au chapitre II. Si ces évaluations s'avèrent positives, il est conseillé de procéder à des essais à grande échelle sur des petits tabliers avant d'adopter le matériau pour une utilisation généralisée.

III.4 Films minces adhérent au support

(Conformément à une technique utilisée en France)(6).

III.4.1 Généralités

Dans quelques pays, à la suite d'une certaine insatisfaction avec les procédés traditionnels de réalisation des chapes d'étanchéité d'ouvrages d'art se sont développées (15, 16) des techniques dites de "films minces adhérent au support" faisant appel aux matériaux modernes que la chimie peut mettre à la disposition des ingénieurs : résines époxydes, polyuréthanes, etc. Certains avantages découlant de l'utilisation de ces matériaux font l'objet d'une analyse critique au chapitre VI.

La forte adhérence de la chape d'étanchéité à base de résine époxy ou polyuréthane à son support c'est-à-dire au tablier de pont, présente deux avantages principaux :

- a) degré de sécurité supérieur vis-à-vis des pénétrations d'eau dans les tabliers de l'ouvrage. Dans le cas d'une chape indépendante, l'eau qui aurait pénétré au travers de la chape par un défaut, peut cheminer à l'interface chape-tablier et ainsi rejoindre, parfois fort loin, un défaut du béton par lequel elle pourra pénétrer et exercer son action néfaste sur les armatures et les câbles de précontrainte. Par contre, dans le cas d'une chape adhérente, cette possibilité de circulation de l'eau à l'interface chape/tablier n'existe pas et il ne peut y avoir pénétration de l'eau dans le béton qu'en cas de superposition entre le défaut de la chape et un défaut du béton.
- b) quand il n'y pas d'adhérence suffisante entre la chape et le tablier, des phénomènes de glissement peuvent apparaître sous l'action des forces tangentielles (accélération, freinage, forces centrifuges). Dans le cas d'une chape adhérente, ce défaut ne peut exister et cet avantage est particulièrement sensible dans tous les cas où l'on peut prévoir une force tangentielle importante (ponts en pente, en courbe, en zone urbaine où les accélérations et décélérations sont fréquentes). Ceci naturellement à condition que l'adhérence soit également suffisante entre le revêtement et la chape.

III.4.2 Sélection des produits convenables

Les conditions de fonctionnement d'une chape d'étanchéité d'ouvrage d'art sont assez complexes.

D'une part, son rôle essentiel est, par définition, d'être étanche. D'autre part, du fait que la chape d'étanchéité fait partie intégrante du revêtement du tablier, elle sera soumise, par l'intermédiaire de la couche de roulement, à toutes les sollicitations (verticales et horizontales) résultant de l'action du trafic (voir Appendice A).

La sélection des produits convenables doit s'effectuer sur la base d'un large ensemble d'essais de laboratoires traduisant toutes les contraintes auxquelles seront soumis les produits, tant du fait des conditions de comportement mécanique de l'ouvrage que du fait des conditions de mise en oeuvre.

III.4.3 Essais en laboratoires - principes

a) Adhérence : l'avantage du principe essentiel de ce procédé d'étanchéité étant l'adhérence, ceci doit faire l'objet d'une attention toute spéciale. Il importe d'étudier, non seulement l'adhérence en conditions normales, mais également l'adhérence en présence d'humidité et dans les conditions particulières pouvant être propres aux ouvrages.

b) Comportement mécanique en traction : lors des mouvements et des déformations du tablier résultant du passage des charges, la chape d'étanchéité liée de façon étroite au support grâce à ses qualités d'adhérence, doit pouvoir suivre ces mouvements et déformations sans se rompre. Les positions les plus sévères à cet égard sont celles correspondant aux températures basses et aux sollicitations rapides.

Pour la recherche d'une chape d'étanchéité présentant dans ces conditions un comportement convenable, il convient de s'assurer que des produits possédant une stabilité insuffisante, d'une part à des températures moyennes ou élevées et, d'autre part, lors de sollicitations lentes, ne seront pas utilisés. Lorsqu'ils sont soumis aux sollicitations de traction, il convient en fait, d'étudier leur comportement rhéologique dans toutes les conditions possibles, y compris les effets de fatigue.

c) Résistance à la fissuration : la protection offerte par les films minces adhérent disparaît dès que la chape d'étanchéité adhérente n'est plus capable de "ponter" une fissure se formant dans le béton du tablier. On se retrouve dans ce cas, en face d'une superposition du défaut de la chape et du défaut du béton. Il importe donc que la chape d'étanchéité soit capable de supporter, sans se fissurer elle-même, l'ouverture de fissures dans le béton et il faut qu'elle réponde aux conditions définies au paragraphe II.1.3.

d) Résistance au choc thermique : la chape d'étanchéité sera généralement recouverte d'une couche de roulement mise en oeuvre à chaud et elle doit donc répondre aux conditions stipulées au paragraphe II.1.5.

Aux températures stipulées (pour les enrobés hydrocarbonés à des températures de 140 à 160°C, il s'établit dans la chape une température de l'ordre de 120°C), il convient d'exclure l'emploi d'huile légère du fait que ces huiles se vaporisent et peuvent entraîner des phénomènes de durcissement et de fissuration de la chape d'étanchéité et la contamination du bitume de la couche de roulement.

La meilleure solution semble être d'effectuer certains des essais de caractérisation du comportement mécanique du produit après application d'un choc thermique reproduisant celui qui se produirait dans la réalité.

Notons d'ailleurs que dans le cas d'utilisation de couches de roulement faisant appel à des matériaux mis en oeuvre à des températures plus élevées, le choc thermique serait beaucoup plus sévère. C'est pourquoi, il est généralement exclu, à l'heure actuelle, d'associer des chapes d'étanchéité en films minces adhérant au support et des revêtements en "gussasphalt".

e) Evolution des propriétés mécaniques : toutes les caractéristiques précédentes sont naturellement déterminées sur un produit ayant acquis, après polymérisation, un comportement définitif. Encore convient-il de s'assurer que le produit acquiert, dans les délais compatibles avec le planning de réalisation des travaux, ce comportement définitif et de vérifier dans quelle mesure ce délai est influencé par les conditions de température et d'hygrométrie. Le plus simple semble être d'utiliser à cette fin des mesures de dureté.

f) Programmes d'essais : en partant de ces principes, on peut définir un programme d'essais auxquels devront être soumis tous les produits proposés en vue "d'agrément". Nous donnons à titre d'exemple le programme des essais effectués en France (Appendice B).

III.4.4 Mise en oeuvre

a) Préparation du support. Le film doit se conformer aux conditions stipulées au paragraphe II.2 et, par ailleurs, la surface doit être sablée ou rabotée, puis nettoyée par jet d'air comprimé et/ou lessivage. Dans le cas où des dépressions peu profondes doivent être éliminées par remplissage, on utilisera un mortier réalisé avec le même liant que celui qui entre dans la composition de la chape d'étanchéité et qui sera appliqué sur la surface préparée. Dans le cas de creux plus importants, le remplissage se fera au mortier de ciment avec couche d'accrochage en résine époxy.

b) Conditions de mise en oeuvre. Les produits doivent être applicables quel que soit le degré d'hygrométrie ambiante. Aucune mise en oeuvre ne peut avoir lieu sur support mouillé ou sous la pluie. Le fabricant doit préciser la température minimale au-dessous de laquelle une mise en oeuvre correcte n'est plus possible.

c) Appareils de mise en oeuvre. Outre la brosse et la spatule, deux types de machine de répandage sont actuellement utilisés. L'une comporte un bac de dosage et de mélange par agitation suivi d'un pistolet répandeur ; l'autre comporte un pistolet doseur - mélangeur - répandeur.

d) Epaisseur - nombre de couches. La solution qui paraît préférable à l'heure actuelle comprend :

- un répandage d'une première couche à raison de 500 à 700 g/m² mis en oeuvre à la brosse (selon l'état du support), suivi :
- d'un répandage d'une deuxième couche à raison de 1.200 à 1500 g/m² au pistolet.

Cette deuxième couche doit être mise en oeuvre avant complète polymérisation de la première. L'épaisseur totale minimale doit être de 1mm pour les ouvrages en béton précontraint ou en béton armé à travées indépendantes et de 2mm pour les ouvrages en béton armé des autres types, c'est-à-dire à travées continues.

Eventuellement, on peut prévoir une couche d'imprégnation appliquée avant la première couche. Pour cette couche d'imprégnation, on pourra utiliser un système "à solvant" mais ceci ne paraît pas indiqué pour les autres couches.

e) Gravillons. Après répanchage de la deuxième couche, on opère un gravillonnage de 0,8/1,6mm à raison de 0,8 à 1 Kg/m².

III.4.5 Contrôles.

Un contrôle très sévère est nécessaire. En effet :

- les matériaux utilisés font appel à des produits nobles et chers, et il n'est pas question de les remplacer par des matériaux moins coûteux et le plus souvent moins efficaces.
- les propriétés du produit final dépendent beaucoup des proportions respectives des divers constituants réellement incorporés dans le mélange. Il faut donc contrôler le soin avec lequel le mélange est effectué.
- enfin, les caractéristiques de la chape d'étanchéité réalisée dépendent des caractéristiques du produit utilisé, mais elles dépendent également du soin apporté à la mise en oeuvre.

Les contrôles suivants paraissent nécessaires :

a) Contrôle de conformité des produits livrés

- (i) lors des essais d'acceptation de l'aptitude du produit, ou lorsqu'on passe la commande, le fournisseur doit indiquer les constituants chimiques.
- (ii) dès la livraison du produit, des prélèvements (5 de 0,5 Kg chacun) seront effectués sur chaque constituant.
- (iii) en cas de doute sur l'origine des produits, ou en cas de résultat négatif des essais prévus lors de la mise en oeuvre, l'ingénieur doit faire effectuer l'analyse chimique par un laboratoire.
- (iv) en cours de travail de répanchage, des échantillons de films sont prélevés par répanchage ou par projection sur un support approprié. A partir de ces échantillons, on peut obtenir des éprouvettes à soumettre aux essais de traction longitudinale dont les résultats seront comparés à ceux des produits soumis à appréciation. On vérifiera ainsi globalement la qualité des produits livrés et l'efficacité de l'opération mélange-épanchage.

b) Contrôle d'adhérence.

On utilise pour le contrôle d'adhérence sur chantier les mêmes essais que ceux qui sont utilisés pour la sélection des produits (Appendice B, 2(a)). Il paraît raisonnable de prévoir un essai pour 200m² avec un minimum de 6 essais pour un tablier. On vérifie ainsi, globalement, la qualité des produits livrés et l'efficacité de l'opération "préparation du support".

c) Contrôle d'épaisseur.

A la fin du chantier, on calcule l'épaisseur moyenne (rapport de la quantité totale du produit utilisé à la surface traitée). Il semble également opportun de contrôler la régularité de l'épaisseur répandue.

III.4.6 Les problèmes mal résolus.

Cette technique relativement récente ne peut pas encore être considérée comme ayant atteint son stade définitif d'évolution. Parmi les problèmes qui restent à résoudre, on peut citer :

a) La préparation du support. En l'état actuel cette préparation du support, si elle est bien faite, est très onéreuse (d'où une certaine tendance à la mal faire). Il conviendrait en particulier :

- (i) de pouvoir définir, par exemple, à l'aide de clichés de référence (comme cela existe pour des surfaces métalliques) l'état de surface désirable ;
- (ii) de pouvoir disposer de moyens autres que les moyens destructifs actuels (sablage, rabotage) pour obtenir des supports permettant aux qualités d'adhérence du produit de se manifester pleinement ;
- (iii) étudier des mortiers de ragréage moins onéreux que les mortiers actuels à base de résines époxy.

b) Le bullage. Le phénomène de bullage peut intervenir dans les films minces adhérent au support. Ceci est dû :

- (i) à la faible épaisseur du film, les bulles percent plus facilement le film et restent rarement emprisonnées à l'intérieur.
- (ii) à la température de mise en oeuvre nettement plus basse et qui n'entraîne pas une vaporisation de l'eau, mais seulement une augmentation du volume de l'air contenu dans les porosités ou capillaires du béton du tablier.
- (iii) à la vitesse de polymérisation plus faible que la vitesse de solidification de l'asphalte.
- (iv) du fait que la polymérisation se produit de façon relativement homogène dans la masse et non pas en commençant par la surface supérieure (piégeant ainsi les bulles d'air ou les vapeurs d'eau) comme lors de la solidification de l'asphalte.

Ce phénomène se rencontre le plus souvent sous la forme de trou d'épingles ("pin-holes"). Contrairement au cas de l'asphalte où lors de l'application de la couche supérieure, le ramollissement et même la fusion partielle de la chape d'étanchéité permet en général à ces trous de se refermer, les trous d'épingles, eux ne se referment pas.

Parmi les causes qui semblent favoriser le bullage, on peut citer :

- la porosité et l'humidité du béton,
- une viscosité trop importante du produit à la mise en oeuvre et une température de répandage trop élevée (ou l'ensoleillement), une vitesse de polymérisation trop rapide,
- une épaisseur trop importante de la couche,
- l'utilisation de systèmes avec solvant,
- l'utilisation de pistolets (qui ne sont pas tous du genre "air-less").

Il convient dans toute la mesure du possible de mettre en oeuvre sur un support sec préparé par sablage. Il est recommandé d'appliquer la première couche par brossage ou par pulvérisation au pistolet suivie de brossage. Ces opérations doivent être effectuées par un personnel qualifié.

Les systèmes à deux couches semblent préférables, car le phénomène de bullage est pratiquement totalement éliminé dans la deuxième couche.

c) Adhérence, couche de roulement-chape d'étanchéité. Pour pouvoir réellement bénéficier de l'avantage apporté à la stabilité des couches de roulement vis-à-vis des sollicitations tangentielles, par l'adhérence chape-support, il faut également que cette adhérence soit réalisée au niveau couche de roulement-chape.

En l'état actuel, dans la mesure où l'on utilise essentiellement des résines de synthèse ou des mélanges résines de synthèse-brais de houille pour la chape, et des matériaux bitumineux pour la couche de roulement, il n'y a pas d'adhérence de nature chimique possible entre la couche de roulement et la chape. Par ailleurs, compte tenu d'autres nécessités (notamment celles de ne pas perforer la chape), l'adhérence de nature mécanique est assez faible.

Parmi les solutions possibles, on peut penser à utiliser une couche de roulement à base de brais de houille et une couche d'accrochage avec un produit présentant, tant envers la chape qu'envers le matériau bitumineux de la couche de roulement, une affinité d'ordre chimique, ou encore perfectionner l'adhérence mécanique par l'étude systématique de gravillonnage (taux de répandage, forme des grains, etc.).

III.5 Raccords au droit des parapets, des bordures et des joints

Sauf dans le cas où il existe une forte adhérence entre la chape d'étanchéité et le béton (comme c'est le cas avec les matériaux à base d'époxy et de polyuréthane), il convient d'utiliser un scellement assurant l'étanchement des bords des couches d'étanchéité. Ceci est particulièrement important dans le cas des systèmes d'étanchéité qui ne présentent pas une adhérence parfaite ou même ne présentent aucune adhérence par suite de l'utilisation d'une couche de décompression. Il est dans ce cas essentiel de faire en sorte que l'eau ne puisse s'infiltrer entre la chape d'étanchéité et le béton.

Au droit des parapets ou de toute autre surface verticale formant la limite des surfaces étanches, la chape d'étanchéité doit être étanchée par remontée dans une engravure ménagée dans le béton de la corniche (figure 3a). Cette couche est protégée par un enduit armé d'un grillage fin. Une méthode plus simple qui ne présente pas l'avantage d'une protection par couche de béton est indiquée à la figure 3b. Une autre méthode consiste à étendre le matériau d'étanchéité sous le parapet comme indiqué à la figure 3c. Les films minces adhérents doivent être remontés le long de la surface du matériau sur 150mm.

Pour les bordures, la méthode la plus satisfaisante du point de vue étanchéité consiste à poser les bordures sur la couche de protection qui recouvre la chape d'étanchéité (figure 4a). Lorsqu'il est nécessaire de prévoir une couche rigide pour empêcher le déplacement des bordures sous les sollicitations des charges de circulation, les dispositions indiquées à la figure 4a peuvent être utilisées. Néanmoins, si l'on juge essentiel de fixer les bordures directement sur le tablier en béton, on devrait adopter la méthode indiquée à la figure 4b.

Aux joints du tablier le problème est double : tout d'abord étancher le joint lui-même et ensuite sceller la couche d'étanchéité contre le joint. L'étanchéité du joint relève de la conception de celui-ci et, pour cette raison, nous ne nous étendrons pas ici sur ce problème sauf en ce qui concerne les joints enterrés des ponts de faible portée avec revêtement posé de manière continue auquel cas l'étanchéité peut être appliquée comme indiqué à la figure 5a. En ce qui concerne l'étanchéité contre le joint, celle-ci peut être réalisée, soit en utilisant un matériau d'étanchéité coulé, soit en pinçant mécaniquement une feuille d'étanchéité préfabriquée contre le joint et en la reliant par un sandwich du matériau de la première couche d'étanchéité (figure 5b).

Si la feuille passe sous le joint, elle ne doit pas avoir une épaisseur supérieure à 1 mm et doit être faite d'un matériau qui ne flue pas, sinon la tension des boulons diminuerait.

III.6 Drainage de la chape d'étanchéité

Du fait que la plupart des revêtements hydrocarbonés sont perméables, l'eau a tendance à s'accumuler et à cheminer à l'interface étanchéité/couche de roulement. Lorsque la portée du pont est courte et lorsque le revêtement recouvre les joints de manière continue, l'eau s'écoule en général assez rapidement. Par contre, dans le cas de longue portée ou lorsque la présence de joint de dilatation fait obstacle à cet écoulement, les nappes d'eau mettront un certain temps à se disperser. L'eau ainsi accumulée forme un réservoir à partir duquel elle risque de fuir par toute perforation de la chape d'étanchéité et ainsi donner lieu à la formation de zones d'humidité prolongée dans les structures sous-jacentes. Cette humidité peut entraîner la détérioration du béton de l'ouvrage avec fissuration et écaillage du béton, corrosion des armatures ou des câbles de précontrainte. L'accumulation d'eau peut aussi entraîner la détérioration du revêtement hydrocarboné par élimination du liant.

La forme de drainage la plus simple est de prévoir des rainures d'écoulement vers les caniveaux d'évacuation d'eau superficielle. Des exemples typiques de cette forme de drainage sont illustrés à la figure 6a. Un système de drainage plus systématique de la zone concernée consiste à aménager un réseau de drains à l'intérieur même du revêtement. La figure 6b montre un profilé creux, en aluminium, et comportant une série de fentes. Ce dispositif est utilisé en France pour la réalisation de drains d'écoulement. Les figures 5b et 6c illustrent respectivement comment ce dispositif est utilisé pour empêcher l'accumulation d'eau au droit des joints et le long des bordures. Le système utilisé en Suède (17) a été conçu pour drainer l'ensemble du revêtement d'un tablier de pont à l'aide de drains longitudinaux et transversaux placés sous le revêtement.

Figure 3a
 ETANCHEMENT AU DROIT DU PARAPET (FRANCE)

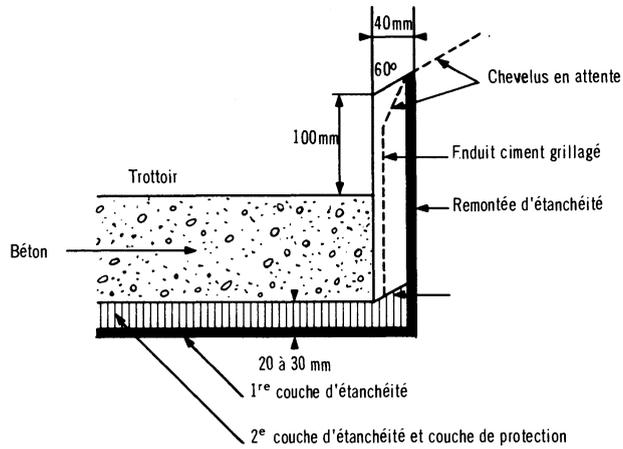


Figure 3b
 ETANCHEMENT AU DROIT DU PARAPET (R.U.)

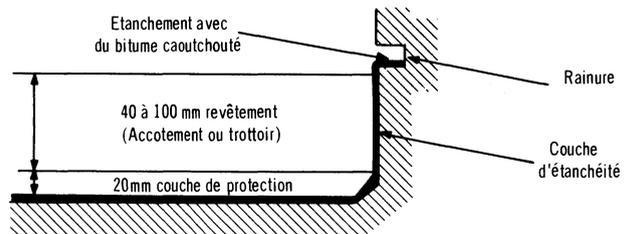


Figure 3c
 EXEMPLE D'ETANCHEMENT AU DROIT DU PARAPET (ALLEMAGNE) (9)

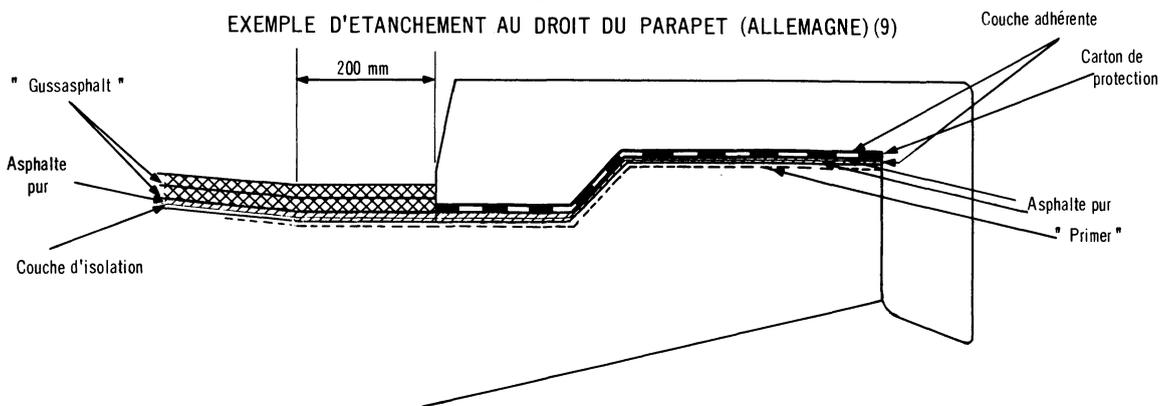


Figure 4a
 ETANCHEITE ET DETAIL DE BORDURE (FRANCE)

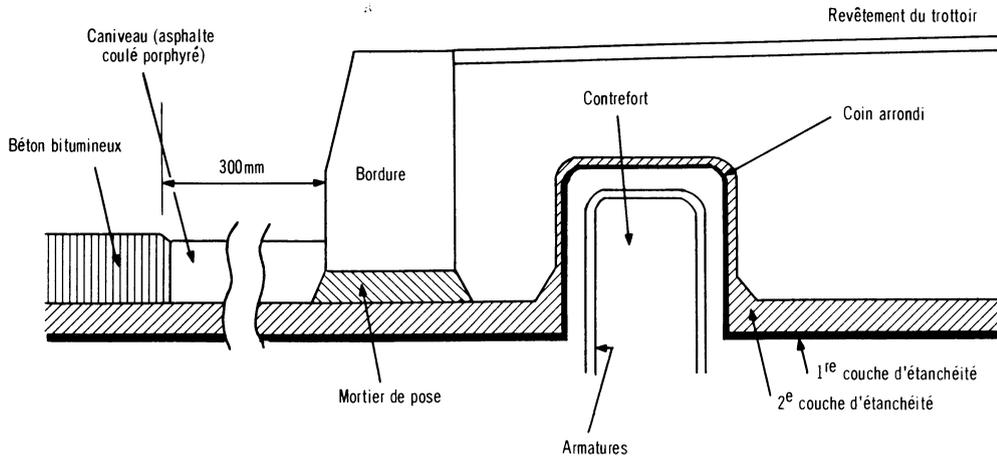
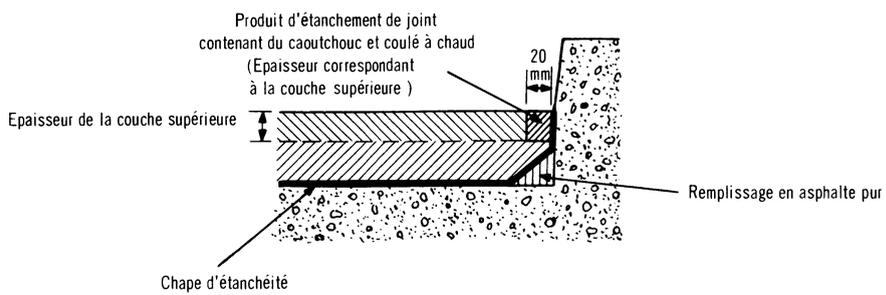


Figure 4b
 ETANCHEMENT AU DROIT DES BORDURES (CANADA)



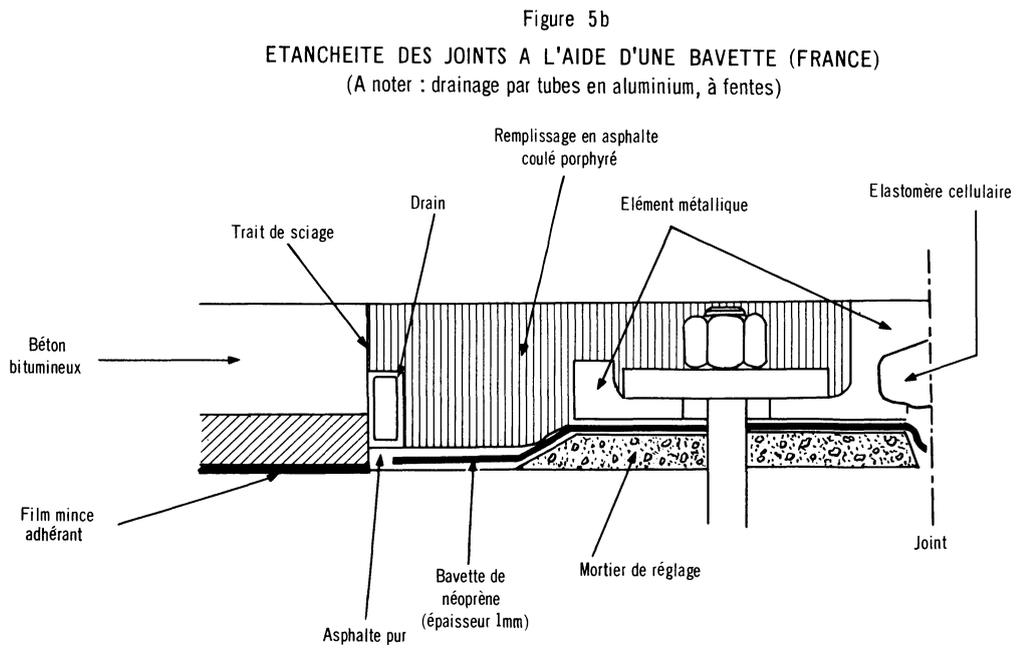
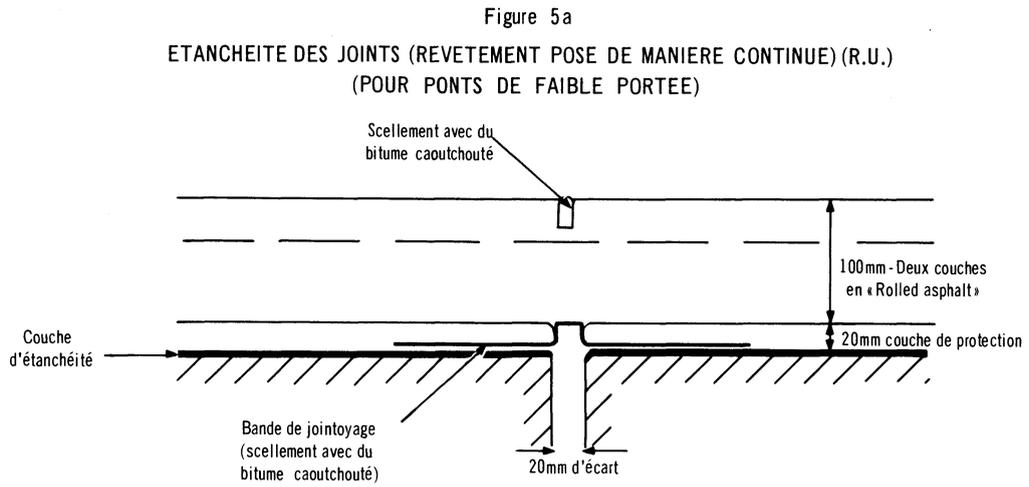


Figure 6a
 EVACUATION D'EAU VERS LES EGOUTS
 DE LA COUCHE D'ETANCHEITE (ALLEMAGNE) (9)

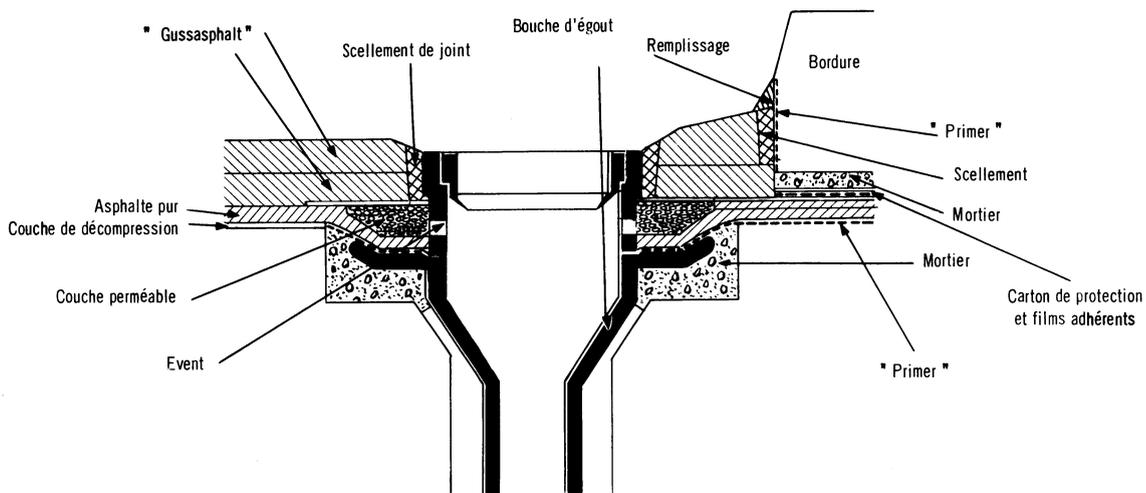


Figure 6c
 DRAINS A FENTES EN ALUMINIUM
 AU DROIT DES JOINTS (FRANCE)

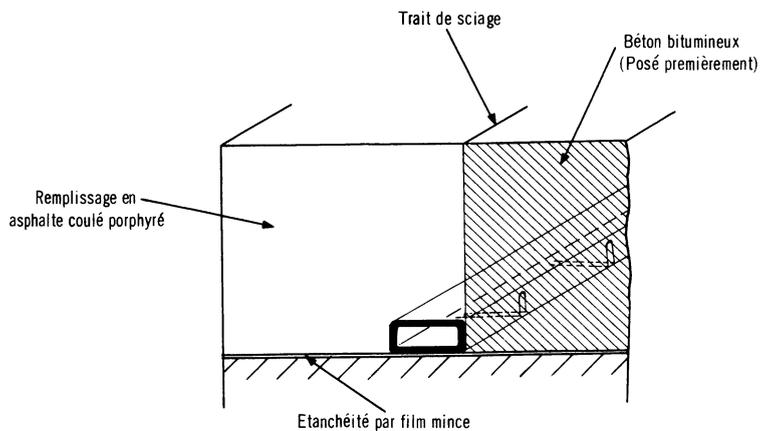
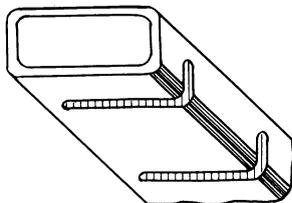


Figure 6b
 DRAINAGE PAR TUBES
 EN ALUMINIUM A FENTES
 (VUE PAR DESSOUS) (FRANCE)



IV

REVETEMENTS EN BETON

Lorsqu'on utilise des revêtements en béton pour les tabliers de ponts, seule une construction "en sandwich" permet d'insérer une fine chape d'étanchéité. Il convient donc d'examiner le problème de l'étanchéité en fonction du type de revêtement, lequel peut appartenir à l'une des catégories suivantes :

- i) les revêtements en béton sans chapes d'étanchéité spéciales où la surface en béton en contact avec les véhicules fait partie intégrante de la structure ;
- ii) les revêtements minces adhérents, où une couche mince d'un béton de haute qualité adhère à la structure en béton ;
- iii) les revêtements en béton "flottants", où une dalle de béton plus épaisse est posée sur la chape d'étanchéité qui est placée sur le tablier et est donc indépendante de la structure en béton.

L'utilisation de ces revêtements est décrite ci-après :

IV.I - Revêtements en béton sans chapes d'étanchéité spéciales

Un tel revêtement présente l'avantage de ne nécessiter aucun revêtement spécial introduisant des matériaux autres que ceux qui entrent dans la structure ; en outre, le poids mort reste aussi faible que possible du fait que la seule épaisseur supplémentaire requise par ces revêtements est celle qui est prévue pour l'usure du béton. Ces deux avantages contribuent à diminuer les coûts initiaux.

La finition du tablier en béton doit normalement être effectuée mécaniquement afin d'obtenir un confort satisfaisant pour les usagers. Il convient de calculer soigneusement les niveaux du coffrage afin que le profil en long du tablier soit correct lorsque le pont est achevé. Cela signifie qu'il faut déterminer la déformation due au fluage, au retrait et aux chocs thermiques du béton, ainsi que la déflexion due aux charges mortes et imposées et le tassement des fondations et des voies d'accès. On utilise de temps en temps un béton "à prise retardée", destiné à limiter à une seule opération l'achèvement du tablier et à améliorer la maniabilité pendant des périodes de temps chaud.

Le béton utilisé pour une surface d'usure doit présenter une bonne résistance à l'usure et au dérapage, une durabilité satisfaisante et une bonne résistance aux actions des fondants chimiques. Le béton utilisé pour la structure ne possède pas toujours ces propriétés. L'un de ses défauts les plus fréquents est son manque de durabilité qui, dans certains cas, a entraîné des dégâts importants et des travaux de réparation onéreux. Aux Etats-Unis, où les fondants chimiques ont été utilisés régulièrement pendant de nombreux hivers, l'utilisation des bétons avec entraîneurs d'air, soumis à un contrôle rigoureux,

s'est avérée primordiale en vue d'obtenir des performances satisfaisantes. Dans des conditions climatiques où l'utilisation des fondants chimiques est peu probable, des revêtements en béton sans chapes d'étanchéité spéciales peuvent être utilisés pour les ponts d'un coût total peu élevé, situés dans des régions à faible densité de population.

IV.2 - Revêtements minces adhérents en béton

Ce type de revêtement a été utilisé sur un grand nombre de ponts construits en Suisse (18) au cours des quinze dernières années ainsi qu'au Canada (19).

En Suisse, le revêtement est composé d'une couche de béton de haute qualité (analogue à celui qui est employé pour les routes en béton et dont l'épaisseur est au moins de 80 mm (50 mm pour les aires de stationnement). La teneur du béton en ciment ne devrait pas être inférieure à 350 kg/mètre cube et la résistance à 28 jours doit être au moins de 380 kg/cm carré en compression et de 53 kg/cm carré à la flexion. On obtient une liaison satisfaisante entre le béton du revêtement et le béton de la structure au moyen d'ancres en acier réparties à la surface du tablier. Ces ancres ne doivent pas gêner la vibration et le surfacage du béton de la structure ; c'est pourquoi elles sont composées soit d'une cavité à vis, dans laquelle une ancre pourra être introduite ultérieurement, ou d'un étrier susceptible d'être soulevé après le serrage du béton. Les ancres peuvent aussi être fixées dans des trous percés ultérieurement dans le béton de la structure. Une barre filetée en acier, destinée à consolider le revêtement en béton, est solidement attachée aux ancres.

Pour les revêtements minces adhérents, la texture superficielle du béton de la structure devrait être aussi grossière que possible pour permettre une bonne liaison. Les tabliers de ponts sur lesquels des véhicules ont déjà circulé doivent être parfaitement débarrassés de tous dépôts d'huile ou de caoutchouc. Toute laitance devrait disparaître de la surface du béton. La surface ainsi préparée du béton de la structure devrait rester humide pendant deux jours ; ensuite, il convient d'apprêter la surface, soit en appliquant un mortier de ciment (environ 1:1) ou au moyen d'un agent de liaison en résine synthétique. Il convient ensuite de poser, compacter et finir le béton selon la texture requise. La cure efficace du revêtement en béton adhérent est essentielle car, si la capacité de contrainte du béton nouvellement posé est dépassée, il se fissurera. Il est recommandé que la cure soit effectuée au moyen d'un agent de cure ou de toiles de jute humides.

Les joints transversaux sont généralement espacés de 4 ou 5 m. On rencontre parfois d'autres écartements, allant jusqu'à 28 m. Il arrive qu'on n'utilise pas de joints.

L'expérience a montré qu'en cours de construction, lorsque la déclivité dépassait 5 %, il fallait veiller à empêcher que la viscosité du béton ne produise une ondulation à la surface. On a également constaté que toute vibration du tablier de pont due au passage de la circulation doit être évitée lors de la prise et du durcissement de la surface en béton. Dans un cas où cette précaution n'a pas été observée, le revêtement mince adhérent au béton s'est gravement fissuré.

Il est possible de réparer les fissures superficielles qui sont généralement étroites en raison de la qualité de la liaison avec le béton de la structure, en les comblant avec une résine synthétique ; cette opération ne nécessite pas une injection sous pression.

Il est possible d'installer un chauffage de la route dans les revêtements minces adhérents. La grille de chauffage est normalement placée 20 mm au-dessous de la surface.

Les procédures décrites ci-dessus sont fondées sur l'expérience suisse des quinze dernières années. On a obtenu des résultats satisfaisants avec les revêtements minces adhérents, à l'exception de quelques cas de "vides" entre les chapes dus à une mauvaise observation des procédures.

IV.3 - Revêtements en béton "flottants"

Un revêtement de béton "flottant" est posé sur une chape d'étanchéité, et par conséquent indépendant du béton de la structure. Pour cette raison, le revêtement flottant n'est pas directement supporté par le béton de la structure et, afin de résister à la charge de la circulation et au choc thermique, il doit avoir une épaisseur sensiblement supérieure aux 80 mm requis pour un revêtement mince adhérent. Outre le fait qu'elle tient compte de la déflexion du pont due au poids supplémentaire du béton, la procédure suivie pour poser un revêtement de béton "flottant" est analogue à celle qui sert à poser un béton routier.

DESCRIPTION DES SYSTEMES ACTUELS

V.1. Description des systèmes actuellement utilisés pour l'étanchéité des tabliers de ponts

Le présent chapitre décrit les différentes techniques couramment utilisées pour l'étanchéité des tabliers de ponts, dans les quatorze pays qui ont répondu au questionnaire qui leur avait été adressé par le Groupe de Recherche de l'O.C.D.E. Ces pays sont les suivants : Allemagne, Belgique, Canada, Espagne, Finlande, France, Irlande, Italie, Japon, Luxembourg, Pays-Bas, Royaume-Uni, Suède et Suisse.

L'étanchéité des tabliers de ponts est maintenant systématiquement adoptée dans les pays en question, à l'exception de l'Espagne, du Japon et des Pays-Bas. En Espagne, la proportion de ponts munis d'une chape d'étanchéité est actuellement de 30 %, mais cette proportion s'accroîtra sans doute. Au Japon et aux Pays-Bas, l'étanchéité n'est pas pratique courante.

V.2. Nécessité de l'étanchéité

Comme il a été souligné dans l'introduction, les tabliers de ponts sont étanchés dans le but de protéger leur structure contre tout risque de dégât. Dans les réponses au questionnaire, l'utilisation des fondants chimiques est citée en tant que cause de détérioration la plus fréquente, mais il est également fait état de l'action des embruns dans les zones côtières et de la pollution atmosphérique de l'eau de pluie par le gaz sulfureux.

On a parfois prétendu dans le passé que le béton précontraint était à l'abri des dégradations dues au ruissellement et à l'emploi des fondants chimiques. Néanmoins, l'expérience a démontré que le béton exigeait une protection par étanchéité. Les câbles de précontrainte sont exposés à la corrosion du fait qu'ils sont souvent placés très près de la surface du revêtement et qu'ils sont maintenus sous tension.

L'étanchéité permet également d'empêcher la formation de plaques d'humidité ou de verglas sur les chaussées passant sous ces ponts, par suite de suintements et d'éviter toute perturbation sur les lignes électrifiées à caténaies. Elle empêche la formation de taches peu esthétiques ou de dépôts de chaux carbonatée sur la structure des ponts. Certains pensent également que le revêtement routier se comporte mal lorsqu'il est posé directement sur le tablier ; la chape d'étanchéité joue le rôle favorable supplémentaire d'isolation mécanique contre les effets des charges.

V.3. Fondants chimiques et pneus à clous

Tous les pays qui ont répondu au questionnaire à l'exception de l'Irlande, utilisent le sel comme fondant. Le chlorure de sodium et le chlorure de calcium sont employés bien que le fondant le plus commun soit le chlorure de sodium. La fréquence et l'intensité d'application varient considérablement ; ces variations ne semblent pas être fonction du seul climat. Pour des renseignements plus détaillés concernant l'utilisation des fondants chimiques, voir les rapports de recherche routière de l'O.C.D.E. sur la "Corrosion des véhicules automobiles et influence des fondants chimiques" (20) et sur les "Dégâts hivernaux causés aux chaussées" (21).

Les pneus à clous sont autorisés et employés dans de nombreuses régions où l'enneigement est généralisé ou important. Leur utilisation peut entraîner une usure accélérée des revêtements hydrocarbonés : une couche de protection en béton armé est souvent utilisée pour empêcher la détérioration de la chape d'étanchéité (voir Tableau 1). Néanmoins, dans les régions où il est procédé à de fréquents épandages de fondants, on a constaté que la couche protectrice de béton armé s'use elle-même rapidement.

V.4. Matériaux d'étanchéité

On dispose d'une large gamme de matériaux d'étanchéité des tabliers de ponts ; les matériaux utilisés dans les pays qui ont répondu au questionnaire sont répertoriés au Tableau 1. Lorsqu'ils font partie du système, les "primers", couches de décompression et couches de protection font l'objet d'une courte note.

V.5. Essais des matériaux d'étanchéité

Les matériaux d'étanchéité font l'objet d'essais d'homologation en Allemagne, au Canada, en Finlande, au Japon, en Suède et au Royaume-Uni. Les essais destinés à simuler le comportement des matériaux d'étanchéité au droit des fissures, tels qu'ils sont exécutés au Canada (Ontario) et au Royaume-Uni, sont décrits à l'Appendice B. Un essai d'impact destiné à déterminer la tenue des matériaux est utilisé au Royaume-Uni : lorsque les résultats d'essais en laboratoires sont satisfaisants, il est procédé à des essais sur terrain.

En Allemagne les propriétés des matériaux hydrocarbonés utilisés dans les systèmes d'étanchéité font l'objet de spécifications (9). Les essais effectués sur des feuilles de caoutchouc pour en déterminer la perméabilité et l'effet de charges répétées sur leurs caractéristiques d'adhésion ont été effectués au Japon ; d'autre part, en Suède, des essais ont été effectués sur des feuilles de bitume armé de fibres minérales et sur des couches adhésives de bitume chaud.

Des essais de contrôle de qualité des matériaux bitumineux sont effectués en Allemagne, Belgique, Espagne, Finlande, France, Italie, Suède, Suisse, aux Pays-Bas et au Royaume-Uni. L'appendice B décrit également les essais français et italiens pour évaluer les performances des films minces adhérant au support.

Ces essais sont effectués selon les normes en vigueur et concernent en général, la composition du mélange, la granulométrie des agrégats et les propriétés du bitume et du mélange. Dans le cas de la Finlande, les essais sont effectués conformément à des normes établies.

Tableau 1 : Systèmes d'étanchéité

	Matériaux hydrocarbonés	Feuilles préfabriquées	Films minces adhérent au support (à base d'époxy, polyuréthane et matériaux similaires)
Allemagne	8-10 mm d'asphalte pur posé sur film en feutre de verre, - recouvert de 35 mm de "gussasphalt" (Voir para III.2.2)		
Belgique	15 mm d'asphalte coulé sur une couche de fibres de verre (non utilisé sur surfaces en forte pente) (Posé sur surface apprêtée par un "primer" et recouvert d'une couche de protection en asphalte coulé) (Voir appendice C)	Feutre bitumineux 350 g/m ² (Voir Appendice C)	

	Matériaux hydrocarbonés	Feuilles préfabriquées	Films minces adhérant au support (à base d'époxy, polyuréthane et matériaux similaires)
Canada	<p>Asphalte pur contenant du caoutchouc, posé à chaud. Couche d'accrochage, et fibres d'amiante incorporées dans le mélange à chaud pour assurer un revêtement étanche.</p> <p>Asphalte coulé caoutchouté posé à chaud. Couches hydrocarbonées en asphalte liquide.</p> <p>Asphaltes émulsionnés avec trame en fibres de verre.</p> <p>(Voir Appendice C).</p>	<p>Neoprène)</p> <p>Caoutchouc)</p> <p>butylique avec) en cours</p> <p>cure ou)</p> <p>semi-cure)</p> <p>Monomères) d'</p> <p>de propylène)</p> <p>éthylène avec) essai</p> <p>semi-cure)</p>	<p>Polyuréthane</p> <p>Résine de caoutchouc synthétique liquide</p>
Espagne	<p>Couche de 5mm d'asphalte pur de scellement sur trame de fibres de verre (couverte d'une couche de protection de 5mm). (Voir III.2.3)</p> <p>Couche de 10 mm de sable enrobé à chaud 6 mm d'asphalte pur posé à froid en deux couches (voir Appendice C)</p>		2 mm de brai-époxy
Finlande	<p>"Primer" cut-back et film d'étanchéité hydrocarboné armé de fibres de verre et posé à chaud (couche de protection de 50 mm de béton)</p>	<p>Deux couches de feuille de bitume armé de fibres de verre (protégées par 50 mm de béton)</p>	

	Matériaux hydrocarbonés	Feuilles préfabriquées	Films minces adhérant au support (à base d'époxy, polyuréthane et matériaux similaires)
France	Mélange bitumineux à granulométrie discontinue posé sur couche d'étanchéité en asphalte coulé Mélange bitumineux à granulométrie discontinue posé sur asphalte caoutchouté. (Voir appendice C)	Feuille aluminium martelé-bitume (recouverte d'asphalte coulé à granulométrie discontinue)	Brai-époxy (voir également para III.4)
Irlande	19mm d'asphalte pur suivant norme BS 1097 (posé en deux couches) Emulsion de bitume armé de toile de jute	Feuille en cuivre/bitume (3,5 kg/m ²)	
Italie	Bitumes modifiés aux élastomères Asphalte (voir Appendice C)		Résines époxydiques (voir Appendice C)
Japon	Emulsions de bitume	Feuille d'aluminium placée entre deux couches de feuille de chanvre avec asphalte ("pénétration grade asphalte") Feuille de caoutchouc non vulcanisée qui se vulcanise sous l'effet de la chaleur du matériau hydrocarboné qui lui est superposé	
Luxembourg		Caoutchouc synthétique (recouvert d'une couche de 120 mm de béton armé)	

	Matériaux hydrocarbonés	Feuilles préfabriquées	Films minces adhérant au support (à base d'époxy, polyuréthane et matériaux similaires)
Pays-Bas	Couche de 4 à 5 mm de bitume contenant du caoutchouc sur fibre de verre (sur béton traité avec un "primer" de bitume) (voir Appendice C)		Mélange époxy-goudron de houille contenant des granulats
Royaume-Uni	20 mm d'asphalte pur suivant BS988 ou 1097 appliqué en deux couches (voir paragraphe III.2.4)	Feutre bitumineux sur support de toile de jute. Feuilles de bitume sur support de cuivre Feuilles de caoutchouc butyl Feuilles brai-polymère (posées sur surface apprêtée par un "primer" et généralement recouverte d'une couche de protection de 20 mm de sable enrobé à chaud) (Voir paragraphe III.3.).	Brai-époxy et polyuréthane
Suède	10 à 12 mm d'asphalte pur posé sur trame de fibres de verre. Protégé par 10-15 mm de béton bitumineux (Voir Appendice C)	Deux couches de feuilles de bitume posées dessus et recouvertes de bitume étalé à chaud à la brosse. Recouvert d'une couche de protection en béton armé d'une épaisseur de 50 mm (Voir Appendice C)	
Suisse	20mm "Gussasphalt" Couche(s) de fermeture en asphalte contenant du caoutchouc d'une épaisseur de 3-4mm (une seule couche) ou de 4-5mm (deux couches). Asphalte pur.		Brai-époxy

V.6. Revêtements hydrocarbonés

On trouvera au tableau 2 des détails concernant les revêtements hydrocarbonés utilisés sur les tabliers de ponts. On notera qu'en moyenne les épaisseurs vont de 50 à 100 mm et qu'elles comprennent généralement une couche de roulement de 25mm à 50 mm d'épaisseur et une couche de base de 30 mm à 60 mm d'épaisseur.

V.7. Finition et cure du béton de tabliers

Les méthodes utilisées pour assurer la finition des tabliers en béton avant imperméabilisation comprennent l'emploi des truelles ou des taloches, des règles à main ou vibrantes, des toiles à sac ou des balais etc... L'effet recherché est d'obtenir une surface dense, de bonne tenue, ne présentant aucune trace de laitance ou de porosité. En France, il est recommandé aux ingénieurs du maître d'oeuvre d'être particulièrement exigeants en ce qui concerne la qualité de la finition superficielle lorsque l'emploi d'une feuille d'étanchéité adhérente est prévu. On trouvera à l'Appendice D une note concernant l'utilisation des machines de finition.

Les tolérances acceptées dans les différents pays pour les revêtements de tabliers en béton sont les suivantes :

Allemagne	Ecart de 10mm	sous règle de 3 m				
Belgique	" "	5mm	" "	" "	" "	3 m
Canada	" "	3mm	" "	" "	" "	3 m (difficilement réalisable)
Espagne	" "	5mm	" "	" "	" "	3 m
Finlande	" "	12mm	" "	" "	" "	5 m
France	" "	8mm	" "	" "	" "	4 m
"	" "	6mm	" "	" "	" "	3 m
"	" "	5mm	" "	" "	" "	2 m
Irlande	" "	6mm	" "	" "	" "	3 m
Japon	Ecart de	± 5 mm	" "	" "	" "	3 m
		± 5 mm	" "	" "	" "	1 m
		± 20 mm	" "	" "	" "	10 m
						(Ces tolérances varient suivant les districts des Ponts et Chaussées)
Royaume-Uni	" "	10mm	" "	" "	" "	3 m (Ceci exclut également les irrégularités prononcées dépassant 3mm)
Suède	" "	4mm	" "	" "	" "	1m (difficilement réalisable)
Suisse	" "	10mm	" "	" "	" "	4m

On notera que les deux tolérances minimales de 3 et 4mm sont difficilement réalisables quelle que soit la longueur de la règle. En plus de ces tolérances, l'Allemagne stipule une inclinaison transversale d'une tolérance de $\pm 0,3\%$ et la Finlande et la Suède stipulent un libre écoulement des eaux superficielles. En Finlande, la pente doit être de 1 : 50 et la Suède exige que le bon écoulement soit contrôlé par arrosage.

On dispose de peu de renseignements concernant les méthodes de cure sinon que quand elles sont pratiquées, ces dernières comportent l'emploi de produits de cure

pigmentés blancs, de toile de jute mouillée et d'eau. Lorsqu'il est important d'assurer une bonne adhésion entre le matériau d'étanchéité et le tablier, ce dernier ne doit comporter aucune trace d'un produit de cure ou de laitance superficielle. On a parfois recours au sablage pour assurer une bonne adhésion.

V.8. - Préparation des tabliers en béton

Toute une gamme de traitements est prévue pour la préparation de la surface du béton avant application de la chape d'étanchéité : on en trouvera la liste au Tableau 3 sous le titre "traitements normaux", tels que brossage et, sous le titre "traitements correctifs" ceux qui sont destinés à corriger les défauts. Le traitement le plus complet, d'utilisation courante, est le sablage suivi par les projections d'air comprimé, méthode employée au Canada. Néanmoins, le traitement le plus courant consiste à nettoyer la surface par brossage et/ou par projection d'air comprimé. Lorsqu'un traitement correctif s'impose, la méthode recommandée consiste à rectifier les aspérités par meulage ou rabotage. La boucharde est également utilisée mais comporte le risque de laisser des fissures fines dans le béton. Le recours au remplissage des creux avec du mortier de ciment ou d'époxy n'est à recommander que lorsque cette opération peut être soigneusement contrôlée de façon à assurer une bonne liaison.

On trouvera au Chapitre III les détails concernant l'utilisation des couches de fermeture et d'accrochage et les méthodes d'application de la couche d'étanchéité.

V.9. - Drainage

Le drainage des eaux superficielles sur les tabliers est assuré par une pente appropriée et/ou par des rigoles ou divers orifices d'évacuation prévus le long du tablier. La seule mention d'un seul caniveau de drainage concerne un pont au Royaume-Uni.

Dans différents pays, le drainage au niveau de la chape d'étanchéité est assuré de la manière suivante :

- Allemagne: l'eau s'écoulant au travers de la couche d'étanchéité est évacuée par une couche de décompression, des tubes d'évacuation et des sorties sur bouches d'égouts (voir paragraphe III.1.2).
- Belgique: orifices d'évacuation le long des caniveaux et tubes d'évacuation aux points bas.
- Canada: drainage de toutes les couches de matériaux situées au-dessus de la chape d'étanchéité, assuré par des fentes dans les bouches d'égout (cette méthode devient de plus en plus courante).
- Finlande: sortie sur bouches d'égouts.
- France: tubes en aluminium, à fentes, placés sur la couche d'étanchéité aux points bas du tablier (voir paragraphe III.6 et figures 6b et c).
- Japon: sortie sur bouches d'égouts.
- Suède: drains longitudinaux et transversaux placés sous le revêtement (voir paragraphe III.6).
- Suisse: drainage des couches au-dessus des chapes d'étanchéité.

Au Royaume-Uni, on reconnaît la nécessité du drainage au niveau de la couche d'étanchéité et l'adoption de tels systèmes est maintenant recommandée.

Tableau 2 : Revêtements hydrocarbonés

Pays	Couche d'accrochage ou couche de décompression	Chape d'étanchéité	Couche de protection	Couche de base	Couche de roulement	Epaisseur totale du revêtement
Allemagne	Film de feutre de verre	8-10mm asphalte pur	30 à 35 mm "gussasphalt"	Combinaison de couche de base et de couche de protection	30 à 35mm asphalte ou "gussasphalt"	60 à 70mm
Belgique	"Primer"	15mm d'asphalte coulé	Asphalte coulé	60mm couche dense pour égaliser les irrégularités	30-50mm	90-110mm
Canada		Divers		38mm mélange à chaud	38mm mélange à chaud	76mm
Espagne	"Primer"	5mm asphalte pur d'étanchéité 10mm sable enrobé 6mm asphalte à froid (2 couches) 2mm brai-époxy	5mm - - Sable	30mm 40mm 50mm texture ouverte 40mm	25-30mm 30mm 10mm asphalte caoutchouté 30mm	55-60mm 70mm 60mm 70mm
Finlande	"Primer" cut-back	Bitume/tissu en fibres de verre	50mm béton et "primer" cut-back ou émulsions bitumineuses	30mm béton bitumineux à granulométrie continue	30mm asphalte dense ou sable enrobé	60mm

Pays	Couche d'accrochage ou couche de décom- pression	Chape d'étanchéité	Couche de protection	Couche de base	Couche de roulement	Epaisseur totale du revêtement
France		Matériaux hydro- carbonés Brai-époxy	Aucune Sable (temporaire, pendant la période du chantier de terrassement)			50-100mm (analogue à l'épaisseur de la route adjacente)
Irlande		Divers Aucune	- -	- -	- -	50mm asphalte 38- 50mm asphalte pur
Italie		Elastomère bitu- mineux Résine époxy Matériaux hydro- carbonés	- - 10mm	40-60mm	30mm	70-90mm
Japon	Couche d'accrochage			50mm et couche d'accrochage 35mm	30mm 40mm	80mm 75mm
Luxembourg		Caoutchouc synthé- tique	120mm béton armé			40-50mm asphalte dense à chaud

Pays	Couche d'accrochage ou couche de décompression	Chape d'étanchéité	Couche de protection	Couche de Base	Couche de roulement	Epaisseur totale du revêtement
Pays-Bas		Utilisés seulement sur des ouvrages spéciaux et à titre expérimental		0-150mm en une ou deux couches	35-50mm	0-200mm de béton bitumineux dense
Royaume-Uni	"Primer"	Divers	20mm enrobé sable	60-70mm "rolled asphalt"	30-40mm "rolled asphalt"	100mm "rolled asphalt"
Suède	Asphalte à froid "Primer" Fibre de verre (Couche de décompression)	Feuilles de bitume (deux couches) 10-12mm asphalte pur	50mm béton } armé } 10-15mm }	35mm	40mm	75mm
Suisse	"Primer" et Papier huilé	Asphalte pur conte- nant du caoutchouc Asphalte coulé	6 à 10mm Couche en asphalte	30 à 40mm	20 à 30mm	environ 70mm

Tableau 3 : Préparation des Tabliers de Ponts

Pays	Traitement normal	Traitement correctif
Allemagne	Taches d'huile éliminées par lavage à l'eau bicarbonatée ou par décapage à la flamme oxyacétylénique.	Les irrégularités dépassant les limites de tolérance sont éliminées par rabotage.
Belgique	La surface doit être propre, sèche, ne présentant aucune zone de béton douteux et dégagée de toute trace d'huile ou de graisse.	Elimination par meulage ou rabotage des aspérités ou remplissage des creux avec mortier d'époxy. Elimination des laitances de ciment ou matières de béton par brossage ou tout autre moyen.
Canada	Elimination par sablage des laitances, application des produits de cure suivie de nettoyage par jet d'air comprimé (libre de toute huile) immédiatement avant l'imperméabilisation.	
Espagne	Nettoyage par brossage ou par jet d'air comprimé	Aucune méthode satisfaisante n'a été trouvée pour l'aplanissage du béton. Eventuellement, une couche de matériau stable et de bonne qualité est utilisée pour normaliser le profil.
Finlande	Nettoyage	Remplissage des creux par reflachage au béton.

Pays	Traitement normal	Traitement correctif
France	<p>Dans le cas des chapes hydrocarbonées, nettoyage par brossage et jet d'air comprimé. Le béton doit présenter un aspect sec avant pose de l'étanchéité.</p> <p>Dans le cas des films minces adhérant au support nettoyage de la surface par brossage ou jet d'air comprimé, sablage et lavage à l'eau propre.</p>	<p>Lorsque l'épaisseur de l'asphalte dépasse 10mm, les creux sont remplis avec un mortier d'une teneur en ciment de 450kg/m^3 et contenant un additif.</p> <p>Remplissage des creux. Elimination des aspérités trop importantes (4mm sous une règle de 200mm). Rectification au moyen de raboteuse et marte-lage.</p>
Irlande	Nettoyage et séchage	
Italie	Acide chlorhydrique (dilué à 10%) suivi de plusieurs lavages destinés à enlever l'acide ou brossage avec une brosse métallique ou sablage suivi de jet d'air comprimé.	
Japon	Nettoyage soigné	Les irrégularités sont rectifiées par cisailage des aspérités et remplissage des creux avec de l'asphalte oxydé.
Luxembourg	Nettoyage par brossage. Lavage final de la surface	Rectification du support en béton par application d'un film de mortier d'environ 10mm d'épaisseur avec finition à la taloche. Cette couche n'est pas nécessaire lorsque la surface du support a été correctement aplanie.

Pays	Traitement normal	Traitement correctif
Royaume-Uni	Nettoyage par brossage (un liant est utilisé pour lier les particules de poussière fine). La surface du béton doit être sèche. Tout reste de produit de cure doit être éliminé par brossage ou autre méthode. Occasionnellement des traitements avec des acides ont été utilisés avant l'application des films d'époxy.	Occasionnellement le rebouchage au mortier est utilisé, mais cette pratique n'est pas encouragée.
Suède	Nettoyage par brossage et jet d'air comprimé.	Rectification par bouchardage ou par remplissage des creux avec un mortier d'époxy ou de ciment.

V.10. Qualité de la mise en oeuvre

La mise en oeuvre du système d'étanchéité est en général considérée comme un travail spécialisé et tous les pays qui ont répondu au questionnaire font état de l'emploi, soit d'entreprises spécialisées, soit d'équipes qualifiées. Le degré de qualification requis varie suivant le type de matériau utilisé. Dans le cas de films minces adhérents, en particulier de films du type époxy ou polyuréthane, et de systèmes comportant des couches de décompression, il convient de faire appel à des équipes spécialisées dans les techniques de pose de ces matériaux. Dans le cas de matériaux préfabriqués et de matériaux hydrocarbonés, on emploie généralement des ouvriers spécialisés dans la pose des revêtements hydrocarbonés ordinaires. En France, l'Ingénieur Maître d'Oeuvre fait appel aux services d'un laboratoire régional pour l'aider dans son contrôle de la pose des matériaux d'étanchéité.

L'efficacité du système d'étanchéité au cours des premiers un ou deux ans est, en général, soit garantie par l'entrepreneur ou bien encore les clauses générales du marché stipulent que les défauts doivent être réparés. Les garanties à plus long terme ne sont accordées qu'en Allemagne, portant en général sur trois ans bien qu'occasionnellement une garantie de cinq ans ait été exigée.

V.11. Efficacité de l'étanchéité

Les réponses au questionnaire font ressortir qu'en général l'imperméabilisation des tabliers de pont est efficace mais que des fuites surviennent, à l'occasion, dans tous les systèmes. En résumé, les réponses indiquent la situation suivante :

L'Irlande, le Luxembourg et les Pays-Bas considèrent que leur système d'imperméabilisation est efficace. Néanmoins, leurs réponses sont tempérées soit par le manque d'expérience à long terme ou encore par le besoin de recenser les faits d'une manière plus précise.

La Finlande, l'Italie, l'Espagne et la Suède considèrent que l'imperméabilisation est en général efficace. La Finlande fait état d'une enquête menée en 1968 et qui signale des fuites dans 9% des ponts en béton. La Suède fait état de fuites dans le système de drainage placé au niveau de l'étanchéité (en conséquence, le joint entre le tuyau de drainage et la couche d'étanchéité va maintenant être amélioré).

L'Allemagne a trouvé qu'un matériau d'étanchéité convenablement posé, couvert d'une couche de protection en "gussasphalt" et revêtu conformément à la recommandation provisoire donne d'excellents résultats. On note néanmoins que la durée de vie d'une couche d'étanchéité et de sa couche de protection est estimée à environ 20 ans. Avec l'utilisation d'un béton bitumineux fin comme couche de protection et de "gussasphalt" pour la couche de roulement, une réfection s'est imposée après une période de 2 à 8 ans par suite de la formation de nombreuses cloques.

Au Canada et au Royaume-Uni, on n'a découvert aucun système qui soit vraiment efficace sous toutes conditions. Au Royaume-Uni, l'expérience acquise concernant certains des nouveaux matériaux est trop récente pour permettre une évaluation de leur efficacité. Au Canada (Ontario) (3,22,23), il est procédé, sur terrain, à l'évaluation de matériaux d'étanchéité. En Suisse, on constate que l'étanchéité de certains ponts est efficace mais sur d'autres ponts on constate des fuites d'eau.

En France, on dispose de données insuffisantes concernant l'efficacité de l'étanchéité mais on pense que le nombre des ouvrages d'art correctement et efficacement étanches est peu élevé.

V.12. Dégâts occasionnés par les fuites

Toute une série de défauts dus aux fuites d'eau dans les tabliers de ponts sont décrites dans les réponses au questionnaire. Au Canada, le type de dégâts le plus courant et le plus généralisé est associé avec l'utilisation croissante de fondants chimiques : il s'agit de l'écaillage et de la fissuration du béton ainsi que la corrosion des armatures. Le pelade et la fissuration sont généralement associés avec le phénomène de la corrosion des armatures, mais l'écaillage peut survenir indépendamment. Sur les tabliers de construction mixte, en acier et en béton, les fuites aux joints des structures peuvent occasionner une importante corrosion de l'acier. D'autre part, l'ossature du pont peut être affectée en d'autres endroits que le tablier. Le Japon fait également état de corrosion affectant la charpente métallique, plus particulièrement aux connecteurs, dans les constructions mixtes acier-béton.

En Suède, la couche de protection en béton, entre la chape d'étanchéité et le revêtement, s'est très rapidement désagrégée sous l'action du sel et du gel. Ceci démontre très clairement l'intérêt de l'étanchéité pour la protection des tabliers en béton. On signale également que, en l'absence d'étanchéité, le tablier affecté a cédé, sous le poids de charge d'essieux importants. Par contre ce type d'incident n'a pas été signalé dans le cas des tabliers étanches. Toujours en Suède, on signale que l'utilisation croissante des fondants chimiques occasionne des dégâts importants sur les tabliers non protégés.

Au Royaume-Uni, le démarrage du programme actuel de construction de ponts ne remonte qu'à environ douze années, époque à laquelle on ne prévoyait pas de dégâts importants dus aux fuites d'eau. Les défauts, quelques suintements, formation de stalactites et d'autres dépôts de chaux carbonatée, formation de taches d'humidité, etc. sont courants, mais n'ont pas généralement atteint le stade où une action curative s'impose. Sur les ponts de construction plus ancienne, des travaux de réparation ont dû être effectués sur les armatures qui ont souffert de la corrosion.

L'Allemagne signale que les fissures circulaires, formées sur le revêtement, lors de l'éclatement d'une cloque au passage des véhicules, permet à l'eau salée de pénétrer dans le tablier en béton. Dans le cas des ouvrages en béton précontraint, cette élimination de la couche protectrice a entraîné la détérioration et même la désagrégation du béton jusqu'à une profondeur de 50mm.

V.13. Cloquage de la couche d'étanchéité et du revêtement

Cinq pays signalent des cas de cloquage qui se produit pendant la pose des matériaux d'étanchéité. Le Canada signale des cas de cloquage pendant l'application de films d'émulsion, de la couche de revêtement contenant de l'amiante et d'asphalte pur contenant du caoutchouc posé à chaud. La France, l'Allemagne et l'Espagne signalent le cloquage de matériaux à chaud, lorsque ceux-ci sont posés sur des surfaces humides. Par contre, le Royaume-Uni signale le cloquage de l'asphalte pur à chaud quel que soit l'état de la surface, humide ou sec.

L'Espagne mentionne la formation de grosses cloques dans la couche d'étanchéité après la pose de cette dernière. Ces cloques se forment souvent au cours de la pose du revêtement hydrocarboné, plus spécialement lorsque celui-ci est posé à chaud mécaniquement. Néanmoins, le cloquage peut également survenir au cours du printemps et de l'été alors que les écarts de température peuvent être importants. Le Royaume-Uni signale la formation de cloques dans les couches préfabriquées. Ces incidents surviennent plus particulièrement par temps ensoleillé et clair vers la fin du printemps ou pendant l'été,

lorsque l'intensité du rayonnement solaire est élevée. Le risque de cloquage est plus grand lorsque les feuilles d'étanchéité préfabriquées sont exposées, mais le cloquage peut également se développer après la pose de la couche de protection.

L'Allemagne et la Suède précisent l'absence de cloquage lorsque des couches de décompression en fibre de verre sont prévues. Une couche de protection de 50mm de béton contribue également à empêcher le cloquage et, en Suède, on ne signale aucun cas de cloquage après la pose du béton lorsqu'une feuille en bitume est utilisée. En Finlande, une couche de décompression en fibre de verre et une couche de protection de 50mm de béton est systématiquement utilisée : on ne signale aucun cloquage. Au Luxembourg, les travaux d'étanchéité ne sont pas autorisés par temps chaud ; de plus, la surface du béton doit être parfaitement sèche au moment de la pose de la couche d'étanchéité. En France, on note fréquemment que le poids du revêtement et de la circulation élimine les cloques, et que, dans la première couche bitumineuse, les cloques sont colmatées par la seconde couche. Néanmoins, l'expérience anglaise indique qu'une cloque dans la première couche se ramollit et tend à remonter dans la seconde couche, lors de la pose de cette dernière. On a trouvé en Allemagne que le cloquage peut être dû aux pertes d'huile ; le fait que le cloquage se produise entre couches bitumineuses constitue une preuve certaine de perte d'huile. Le Japon attribue le cloquage à un excédent de "primer" bitumineux et/ou de bitume oxydé, à une température trop élevée du revêtement hydrocarboné et à un contact imparfait entre la couche d'étanchéité et le tablier. En Suisse on exige que le tablier en béton soit sec et la chape d'étanchéité en asphalte pur caoutchouté soit protégée immédiatement. L'asphalte coulé devrait être posé sur du papier huilé afin d'éviter le cloquage. L'Irlande ne signale pas de cas de cloquage. La France et l'Italie signalent des trous d'aiguilles et des cas de bullage lorsque des films minces adhérant au support sont employés.

V.14. Dégâts occasionnés par l'étanchéité

Les couches d'étanchéité et de décompression sont parfois la cause de déformations ou de déplacements dans le revêtement hydrocarboné; cependant au Canada, en Espagne et au Royaume-Uni, la déformation ou le mouvement du revêtement hydrocarboné dus à la couche d'étanchéité se produit très rarement. Les quelques cas signalés dans ces pays sont dus respectivement à un mauvais dosage des matériaux, à une mauvaise mise en oeuvre ou à une mauvaise liaison entre la couche d'étanchéité et le revêtement, causée par l'emploi de couches d'étanchéité non bitumineuses. En France, des cas de déformation ou de formation d'ornières dues au manque de stabilité de l'asphalte ont été notés et on a observé des déplacements de 10 à 20mm dans des revêtements à couche unique, sur les pentes et parfois en l'absence de toute circulation.

La Suède et l'Allemagne précisent, que lorsque des couches de décompression en fibre de verre sont utilisées, on ne note aucun glissement - dans le cas de la Suède, cette remarque s'applique aux revêtements à pente normale. En Allemagne, on note des déformations sous forme d'ornières lorsque la teneur en liant de la chape d'étanchéité en asphalte pur est trop élevée ou lorsque la stabilité des couches de protection et de roulement est insuffisante.

Selon la Finlande et le Luxembourg, la couche de protection en béton posée au-dessus de la couche d'étanchéité a évité tout glissement; néanmoins, la Suède signale que lorsque le béton est posé sur une feuille de bitume, cette dernière présente une surface glissante ; en conséquence, la couche de protection en béton doit être ancrée au parapet, etc. On observe sur tous les ponts inclinés un certain phénomène de glissement.

La France signale que le problème de la liaison entre le revêtement et les films minces adhérant au support n'a pas encore été résolu complètement.

V.15. Coût de l'étanchéité

Le coût de l'étanchéité, suivant les renseignements disponibles, se situe entre 1 et 5 % du coût total du pont. En général, les systèmes qui utilisent des matériaux à base d'époxy, les couches de décompression ou des couches de protection en béton coûtent presque deux fois le prix de systèmes plus simples, mais on ne dispose pas de données suffisantes pour permettre une étude détaillée des coûts.

V.16. Recherches en matière d'étanchéité

Des recherches sur les problèmes de l'étanchéité des tabliers de ponts sont effectuées dans un certain nombre d'organisations; en 1971 les programmes étaient comme suit * :

- Canada: Le Department of Highways (Ontario) poursuit un programme d'évaluation destiné à déterminer l'efficacité des systèmes d'imperméabilisation couramment utilisés.
- Finlande: L'Institut d'Etat de Recherche Technique (Laboratoire routier) a effectué à la demande des Ponts et Chaussées finlandais, un inventaire des défauts affectant les revêtements de ponts. L'Institut a entrepris une étude comparative des problèmes d'étanchéité.
- France: Les recherches suivantes sont en cours au Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, le Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes et dans plusieurs laboratoires privés:
- (a) utilisation des matériaux bitumineux
 - recherche visant à améliorer les connaissances sur le comportement des asphaltes purs;
 - étude du remplacement des couches d'asphalte pur par des feuilles préfabriquées, (feuille d'aluminium);
 - détermination de procédures de contrôle normalisé.
 - (b) utilisation d'une membrane mince adhérent au tablier
 - amélioration de l'efficacité des produits actuels;
 - étude de nouveaux produits collés ou coulés en place ;
 - détermination de procédures de contrôle normalisées.
 - (c) étude des techniques utilisées au moment de la pose des matériaux d'étanchéité et de revêtement
 - béton bitumineux;
 - mortier de résine clouté.
 - (d) - amélioration des méthodes de finition des tabliers en béton.
- Italie: Le Centre de Recherche de l'Azienda Nazionale Autonoma delle Strade à Cesano poursuit un programme important d'essais de matériaux d'étanchéité. Dans son ensemble, les travaux seront centrés sur une étude du comportement des matériaux d'étanchéité soumis à des efforts.

* Cette liste n'est pas limitative. Il y a lieu d'y adjoindre les recherches et développements effectués par les entreprises privées.

- Espagne: Le Laboratorio del Transporte y Mecanica del Suelo à Madrid en coopération avec la Direccion General de Carreteras, poursuit des recherches dans le cadre de la préparation de normes pour l'imperméabilisation et le revêtement des tabliers de ponts.
- Suède: Le Statens Väginstitut de Stockholm a élaboré un système comprenant une couche de décompression en tissu de fibre de verre (anti-cloquage), de l'asphalte pur et en béton bitumineux posé à la main. Ce système a fait l'objet de développement complémentaire par les Ponts et Chaussées.
- Royaume-Uni: Le Transport and Road Research Laboratory a mené à bien une étude générale des conditions concernant les systèmes d'imperméabilisation et les matériaux disponibles. A l'avenir les travaux seront concentrés sur l'examen des nouveaux matériaux ou de nouvelles techniques et sur l'étude des échecs.

VI

COMPARAISON CRITIQUE DES MATERIAUX ET SYSTEMES D'ETANCHETITE

La comparaison critique ci-après des mérites des principaux matériaux et systèmes dont on dispose pour imperméabiliser les tabliers de ponts en béton est fondée sur des informations fournies par les divers pays qui utilisent ces systèmes. Le type des matériaux utilisés (matériaux hydrocarbonés en particulier), les méthodes de construction et les critères d'évaluation des performances diffèrent d'un pays à l'autre, ce qui rend difficile une comparaison rigoureuse entre les divers systèmes. Il serait en fait nécessaire de procéder à une série d'examen comparatifs effectués sous contrôle avant d'établir des comparaisons strictes.

L'évaluation qui suit fournira vraisemblablement des indications utiles quant aux mérites respectifs des différents systèmes et matériaux, à condition que les comparaisons tiennent compte de la variété des conditions dans lesquelles ces informations ont été recueillies.

VI.1 Chapes d'étanchéité en matériaux hydrocarbonés

VI.1.1 Système d'étanchéité en asphalte pur et en "gussasphalt"

Ce système est décrit au paragraphe III.2.2. L'évaluation suivante est fondée sur l'expérience allemande.

Le tablier en béton devrait être préparé conformément aux exigences exposées au paragraphe II.2 mais si ce travail est effectué avec soin, l'asphalte pur n'entraîne aucune exigence particulière.

La couche de décompression en feutre de verre destinée à empêcher tout cloquage réduit la liaison entre l'asphalte pur et le béton. Dans certaines conditions, cela pourrait provoquer un glissement latéral du revêtement hydrocarboné. L'utilisation d'une fine chape de décompression en feutre de verre (paragraphe III.2.2) s'est avérée satisfaisante ; grâce au film mince, la rugosité superficielle du béton empêche en effet l'asphalte pur de glisser. Une couche de décompression, percée de trous de 20mm de diamètre a été utilisée pour donner une adhésion partielle au béton. Mais on a constaté que ce procédé pouvait donner lieu au cloquage et il n'est donc pas recommandé d'utiliser des feuilles perforées pour ce système particulier d'étanchéité.

L'asphalte pur, tel qu'il est décrit au paragraphe III.2.2 s'est révélé satisfaisant. Il est bien stable, pas trop friable, il ne se fissure pas sous l'effet des déformations auxquelles il est soumis sur un tablier de pont et il est étanche. Le point de ramollissement (bille et anneau) du mélange bitume-chargeur a été augmenté de 83-85°C à 85-90°C, le mélange étant auparavant trop mou pour que la couche de protection soit posée mécaniquement.

Une chape unique d'asphalte pur risque d'être endommagée par le passage des véhicules de construction. Elle risque également de contenir des soufflures ("1ère génération" de cloquage) qui prennent naissance de la façon décrite au paragraphe III.1.1. Il

est donc nécessaire de recouvrir l'asphalte pur d'une couche de protection. C'est le "guss-asphalt" qui est choisi à cette fin car (i) il est coulé à une température élevée ce qui permet de sceller les soufflures éventuelles de l'asphalte pur, (ii) il forme une couche dépourvue de vides et imperméable donnant ainsi une garantie supplémentaire contre les fuites, et, (iii) sa pose ne nécessite pas de compactage par cylindrage, ce qui évite que l'asphalte pur soit endommagé par les éléments pierreux du mélange.

Le "rolled asphalt" et le béton armé ne conviennent pas pour les couches de protection. Le "rolled asphalt" est écarté car il ne possède pas les propriétés énumérées de (i) à (iii) ci-dessus et une surface d'usure en "gussasphalt" posée sur une base de "rolled asphalt" risque de provoquer un certain cloquage. Le béton armé ne convient pas car, de même que le béton de la structure que le système d'étanchéité protège, il sera endommagé par les chlorures qui s'infiltreront par le revêtement et ces dégâts s'aggraveront sous l'action de la circulation.

Le système composé d'asphalte pur étanche et d'une couche de protection en "guss-asphalt" est l'aboutissement d'une expérience de plusieurs années. Il donne de bons résultats à condition que des ouvriers expérimentés effectuent la pose, que le temps soit sec et que la température moyenne de l'air dépasse +5°C. Le système doit être appliqué dans sa totalité car la couche de décompression est aussi essentielle que la couche de protection si l'on désire que la chape d'étanchéité agisse d'une façon satisfaisante.

VI.1.2 Système d'étanchéité en asphalte pur contenant du caoutchouc et revêtements hydrocarbonés à granulométrie discontinue

Ce système est décrit au paragraphe III.2.3 et l'évaluation qui suit est fondée sur l'expérience espagnole.

Les travaux préparatoires sont simples. La surface du tablier en béton devrait être conforme au paragraphe II.2 et sa texture devrait être lisse et fine. Il est nécessaire d'appliquer une couche d'accrochage constituée par un primer hydrocarboné satisfaisant.

La fabrication et la pose d'asphalte pur contenant du caoutchouc ne devraient présenter aucune difficulté, mais il faut veiller à éviter toute surchauffe du matériau qui entraînerait l'altération du caoutchouc.

Les spécialistes qui ont mis au point ce système considèrent qu'il convient particulièrement aux structures minces pour lesquelles, outre l'étanchéité, la présence d'asphalte caoutchouté améliore les performances du revêtement sous la circulation en l'isolant de la structure du tablier (voir Annexe A). On ignore si cette expérience est confirmée ailleurs.

VI.1.3 Système d'étanchéité en asphalte pur

L'évaluation qui suit est essentiellement fondée sur l'expérience du Royaume-Uni. Le système est décrit au paragraphe III.2.4.

Il n'existe aucune exigence particulière pour les revêtements en béton, hormis la conformité au paragraphe II.2 et l'obtention d'une texture légèrement striée.

La composition de l'asphalte pur est bien définie. On l'applique normalement à la main ("floating") ; ce procédé est assez lent et ne nécessite pas une main-d'oeuvre très spécialisée. La mécanisation de la pose représenterait un avantage considérable et les essais ont montré qu'elle était possible.

La formation de soufflures lors de la pose de l'asphalte pur s'est avérée très gênante dans le passé mais l'utilisation d'une couche de décompression en toile de fibre de verre a définitivement résolu ce problème.

L'asphalte pur forme une chape d'étanchéité relativement robuste, peu sensible aux dégradations en cours de construction ou lors de la pose du matériau hydrocarboné de la couche de base. La présence d'une couche de protection n'est pas nécessaire.

Les tabliers de ponts étanchés au moyen d'asphalte pur présentent souvent certaines fuites sans doute dûes à des fissures et des soufflures non scellées dans la chape d'étanchéité.

VI.2 Feuilles d'étanchéité préfabriquées

L'utilisation de feuilles préfabriquées offre une méthode simple et commode pour imperméabiliser les tabliers de ponts. Fabriqué industriellement, ce matériau a l'avantage d'avoir une épaisseur et une qualité plus régulières que les films faits sur le terrain. L'utilisation des feuilles d'étanchéité préfabriquées est décrites au paragraphe III.3 et l'évaluation qui suit est fondée sur l'expérience du Royaume-Uni.

Il importe que la surface en béton du tablier soit conforme à tous égards aux exigences du paragraphe II.2. Il est aisé d'obtenir la texture superficielle fine qui est requise (paragraphe III.3.2) par brossage ou formation d'ondulations superficielles très légères. Il est recommandé d'appliquer le primaire par brossage et, bien que cela soit plus lent que la vaporisation, le supplément de main-d'oeuvre requis est négligeable.

Il existe sur le marché une variété de types de feuilles d'étanchéité conformes aux exigences du paragraphe II.1 qui conviendront donc aux tabliers de ponts.

La pose manuelle des feuilles préfabriquées est simple et ne nécessite qu'un équipement minimal. Le travail doit être effectué très soigneusement pour que les résultats soient satisfaisants, et confié uniquement à des ouvriers parfaitement habitués à ces techniques particulières. La pose des feuilles est assez lente et, pour des tabliers de grande surface il peut s'avérer nécessaire d'employer plusieurs équipes de travailleurs pour maintenir un rythme satisfaisant.

Lorsqu'on utilise des feuilles non hydrocarbonées, il est souvent nécessaire d'appliquer un enduit d'accrochage pour obtenir une liaison satisfaisante avec les couches hydrocarbonées supérieures.

Il convient de protéger les feuilles préfabriquées les plus minces au moyen d'une couche distincte d'un matériau dont la seule fonction consiste à protéger la chape d'étanchéité. Cet inconvénient est partiellement évité dans le cas de feuilles rigides ou de feuilles souples d'un type plus épais et plus robuste, où la couche de liaison peut être posée directement sur les feuilles. Cependant, il convient d'interdire la circulation des engins de chantier sur les feuilles.

Aucune cloque ne se forme lors de la pose des feuilles préfabriquées mais le risque de voir apparaître des cloques ultérieurement (2ème génération de cloquage) est plus grand qu'avec d'autres matériaux d'étanchéité. Si les feuilles ne sont pas couvertes immédiatement par les matériaux de revêtement (ou la couche de protection), ce risque peut être particulièrement grand dans le cas où les feuilles sont posées au moment où le niveau des radiations solaires est élevé.

Sur le terrain, il est souvent malaisé de procéder immédiatement à la pose du revêtement. Les autres méthodes qui consistent à empêcher la formation de cloques au

moyen d'une couche de décompression risquent de réduire l'adhésion au tablier et de laisser de l'eau jaillir d'une cavité (voir paragraphe III.1.2). En présence d'un cloquage important, il peut s'avérer indispensable d'utiliser une couche de décompression (à condition que la déclivité ne soit pas telle qu'un glissement puisse se produire), mais dans d'autres conditions, il faudra parfois accepter de réparer les zones de cloquage des feuilles préfabriquées.

Le coût de l'étanchement des tabliers de ponts au moyen de feuilles préfabriquées est voisin de celui d'autres matériaux.

VI.3 Films minces adhérent au support à base d'époxy ou de polyuréthane

Les matériaux d'étanchéité à base d'époxy ou de polyuréthane (voir paragraphe III.4) fourniront une chape d'étanchéité efficace et durable où la force de l'adhésion au béton accroît la sécurité contre la pénétration de l'eau. La chape d'étanchéité est mince et ne risque aucune déformation plastique ; sa légèreté peut présenter un avantage pour certains tabliers de ponts et, en particulier, pour les ponts mobiles. L'évaluation suivante est fondée sur l'expérience française.

La préparation de la surface du tablier en béton doit être plus minutieuse que pour tout autre matériau d'étanchéité car il est essentiel d'obtenir une bonne liaison entre le film mince et le support en béton. Il est recommandé de sabler ou d'aplanir la surface puis de la nettoyer à l'air comprimé ou de la laver, ce qui n'est pas nécessaire pour d'autres matériaux.

Il convient de fournir des indications détaillées pour l'utilisation des matériaux et de vérifier régulièrement, au moyen d'essais de contrôle, qu'elles sont bien observées. Le film est appliqué au moyen d'un pistolet répandeur "sans air" et ce procédé peut être entièrement mécanisé. Il importe de veiller soigneusement à ce que les procédures de mélange et d'application des matériaux soient correctement observées et, ces opérations doivent être confiées à un personnel bien entraîné et expérimenté ; il est souhaitable, cependant, que ces exigences s'étendent à tous les autres types de matériaux d'étanchéité.

La polymérisation du film, après application sur le tablier, dépend des conditions atmosphériques. La période convenant à la pose du matériau sur le tablier risque donc d'être plus courte de 2 ou 3 mois par rapport à celle des matériaux hydrocarbonés.

La liaison entre le revêtement hydrocarboné et le film mince ne sera satisfaisante qu'après application d'une légère couche de sable sur le film.

Des bulles ascendantes d'air emprisonné peuvent former des trous d'épingle dans la première couche mais il est possible de les éliminer au moyen d'un brossage léger avant que la polymérisation commence. Des cloques n'apparaîtront que si la température s'élève avant que la polymérisation intervienne.

En dépit du coût élevé de l'époxy et du polyuréthane, il est possible d'appliquer un film mince d'étanchéité au même prix qu'un bon revêtement hydrocarboné.

Il semble possible d'améliorer les films minces d'étanchéité du type époxy/polyuréthane à mesure que les propriétés des matériaux sont perfectionnées. Il semble également que l'amélioration future des conditions de fabrication réduira leur coût par rapport aux autres matériaux.

VI.4 Revêtements en béton

VI.4.1 Revêtements en béton sans chapes d'étanchéité spéciales

Ce type de construction est décrit au paragraphe IV.1. Il s'agit d'une méthode

peu coûteuse où le poids mort est réduit au maximum en raison de l'absence d'une couche de revêtement distincte et d'un système d'étanchéité.

Dans les régions où l'on applique régulièrement des fondants chimiques en hiver, où la circulation est intense et lorsque le béton de la structure a été utilisé, ce type de revêtement a été considérablement endommagé entraînant des réparations onéreuses (1,2); l'application des bétons avec entraîneurs d'air, soumis à un contrôle rigoureux, s'est avérée primordiale. Pour les régions en voie de développement où l'on n'emploie pas de fondants chimiques, l'avantage que présente le moindre coût d'un tel type de revêtements peut être déterminant si l'on peut se contenter d'un niveau inférieur de confort pour l'utilisateur, de résistance à l'usure et au dérapage.

VI.4.2 Revêtements minces adhérents

Ce type de revêtement est décrit au paragraphe IV.2 et l'évaluation suivante est fondée sur l'expérience suisse.

Dans les tabliers de ponts recouverts de béton mince adhérent, l'étanchéité est due à l'emploi d'un béton dense et de qualité supérieure. Il n'est pas possible d'introduire une membrane d'étanchéité dans un revêtement de cette forme.

En Suisse, 134 ponts, d'une surface totale de tablier égale à 75 630 mètres carrés, ont été construits avec un revêtement en béton mince adhérent au cours des quinze dernières années. Les performances de ces revêtements ont donné satisfaction.

Bien que des essais (24) aient démontré que toute l'action composite se produisait entre le béton du revêtement et le béton de la structure, la meilleure pratique en matière de conception ne permet normalement pas de tenir compte de ce phénomène. Mais l'accroissement de la rigidité des tabliers dû à l'action composite et le léger supplément de poids mort infligé au revêtement devraient tous deux figurer au nombre des mérites de ce type de construction.

La construction des revêtements minces adhérents se conforme à une Norme suisse (25). Il convient d'observer minutieusement cette Norme car les procédures recommandées sont fondées sur les résultats de l'expérience acquise et, tout écart risque de donner lieu à des revêtements non satisfaisants ou à des défauts.

VI.4.3 Revêtements en béton "flottants"

Les revêtements "flottants" sont décrits au paragraphe IV.3.

C'est le seul type de revêtement en béton pouvant être combiné à un film mince d'étanchéité. Le revêtement étant isolé du béton de la structure par le film mince, l'épaisseur doit être sensiblement supérieure à celle des revêtements minces adhérents (paragraphe VI.4.2) ce qui augmente le poids mort.

Les revêtements en béton "flottants" peuvent servir à donner une uniformité apparente aux tabliers de ponts sur les routes en béton lorsque la présence d'un film mince d'étanchéité est considérée comme nécessaire ou lorsque la main-d'oeuvre et l'expérience de la pose du béton dont on dispose ne sont peut-être pas suffisantes pour obtenir un revêtement mince adhérent satisfaisant.

VII

CONCLUSIONS

1) La plupart des pays Membres de l'O.C.D.E. considèrent qu'il est souhaitable d'étancher les tabliers de ponts en béton afin de protéger le béton contre toute détérioration et d'empêcher la corrosion des armatures et des câbles de précontrainte. Il existe de nombreux exemples de dégâts subis par des tabliers de ponts non étanches (en dépit de certains cas de tabliers bien conservés sans système d'étanchéité). Lorsque le climat est froid et humide et en particulier là où des fondants chimiques sont fréquemment appliqués, l'utilisation d'un système d'étanchéité est considérée comme essentielle.

2) Le système employé pour étancher les tabliers en béton devrait :

- a) être étanche,
- b) posséder des propriétés mécaniques et thermiques assurant une bonne résistance aux contraintes de la circulation et offrant un support stable au revêtement, quelle que soit la température ambiante,
- c) présenter une résistance satisfaisante aux fissurations du tablier en béton,
- d) être raisonnablement durable,
- e) être compatible, tant physiquement que chimiquement, avec le tablier en béton et le revêtement hydrocarboné,
- f) s'appliquer facilement sur un tablier de pont dans les conditions régnant sur un chantier de construction et être assez robuste pour résister aux sollicitations dues aux travaux de construction ultérieurs.

Certains des pays qui utilisent des chapes d'étanchéité recherchent en outre les effets bénéfiques de l'amortissement mécanique, en particulier sur les structures plus fines et plus souples.

(Ces exigences sont décrites avec plus de détails au chapitre II).

3) Bien qu'aucun des systèmes d'étanchéité existant actuellement n'assure une protection parfaite des tabliers de pont dans toutes les conditions, les quatre systèmes suivants sont considérés comme les plus efficaces parmi ceux qui existent :

- a) une couche en asphalte pur ayant un point de ramollissement bas, contenant du caoutchouc, recouverte d'une couche d'asphalte à granulométrie discontinue (utilisée en France et en Espagne),
- b) de l'asphalte pur en deux couches sur une chape de décompression en feutre de verre comprenant des systèmes de drainage (utilisé en Allemagne et en Suède),
- c) des feuilles préfabriquées combinées à une couche de protection de sable enrobé à chaud (utilisées dans le Royaume-Uni) ou des feuilles protégées par une feuille d'aluminium recouvertes d'une couche d'asphalte coulé porphyré (utilisées en France).

- d) des films minces adhérent composés de résines époxy ou polyuréthane modifiées avec des matériaux hydrocarbonés (utilisés en France, en Espagne et au Royaume-Uni).

Pour les tabliers de ponts soumis au passage des pneus à clous, le système utilisé en Finlande et en Suède, composé d'une membrane d'étanchéité en bitume/fibre de verre, recouvert d'une couche de protection en béton armé, est considéré comme le plus satisfaisant des systèmes existants (voir également la conclusion N° 6).

(Les systèmes d'étanchéité sont décrits au chapitre III et en Annexe C et une évaluation critique figure au chapitre V).

4) Il convient d'évaluer les matériaux ou les systèmes d'étanchéité nouveaux au moyen d'examen ou d'essais en laboratoire suivis d'essais sur le terrain avant de généraliser leur utilisation. Il reste à déterminer des procédures d'essai courantes bien qu'actuellement, les exigences énumérées au chapitre II fournissent des indications quant aux propriétés requises. Après l'approbation, il convient de soumettre régulièrement les matériaux utilisés à des essais de routine.

5) Il est essentiel d'obtenir une surface en béton d'une finition parfaite pour appliquer d'une façon satisfaisante les couches d'étanchéité et de revêtement ; la texture du béton doit en outre être adaptée au système d'étanchéité utilisé. Il est difficile et onéreux de corriger la mauvaise finition d'une surface ; lorsque cela s'avère nécessaire, il est préférable de recourir à un traitement palliatif qui consiste à sabler ou à aplanir les irrégularités plutôt que de boucharder ou de combler les dépressions avec des mortiers de ciment ou de résine (voir paragraphe V.8).

6) La plupart des systèmes d'étanchéité sont exposés aux dégâts pendant les travaux de construction et ils doivent être recouverts d'une couche de protection. Lorsque les opérations d'étanchéité et de protection se succèdent sans travail intermédiaire, le système d'étanchéité doit être suffisamment robuste pour résister au passage des pneus des véhicules ou des équipements utilisés pour poser la couche de protection. Si la pose de la couche de protection peut être reportée, ou si elle est effectuée par un autre entrepreneur, il est nécessaire d'utiliser un matériau d'étanchéité beaucoup plus robuste. Si des véhicules équipés de pneus à clous doivent emprunter le tablier achevé, il peut s'avérer nécessaire d'assurer la protection permanente du système d'étanchéité au moyen d'une couche de béton armé en prévision d'une usure profonde du revêtement ; mais cette méthode peut être peu satisfaisante dans les cas où des fondants chimiques sont fréquemment appliqués.

7) Le cloquage des feuilles préfabriquées ou des chapes hydrocarbonées posées à chaud est assez fréquent mais l'expérience a montré que l'utilisation de couches de décompression permet habituellement de l'éviter. Le cloquage de ces chapes après leur pose (2ème génération de cloquage) peut également être évité si l'on recouvre la chape d'étanchéité immédiatement après sa pose d'une couche ou d'un revêtement de protection hydrocarboné ou en béton. L'utilisation d'une couche de décompression fait apparaître le risque de voir de l'eau traverser une cavité de la chape d'étanchéité pour s'infiltrer dans une fissure ou une zone poreuse du tablier en béton. Une couche de décompression réduira également la liaison entre le système d'étanchéité et le tablier en béton, ce qui peut être indésirable sur les pentes.

8) Il est recommandé qu'un système de drainage assure l'évacuation de l'eau accumulée sur la chape d'étanchéité.

9) L'étanchement des tabliers de ponts doit être effectué avec minutie et un soin

particulier pour les détails des joints, bordures et remontées et, pour la préparation de surface du tablier en béton. La qualité de la main-d'oeuvre chargée d'effectuer la pose des matériaux et la surveillance vigilante de tous les travaux contribueront à l'efficacité du système.

10) Le coût de l'étanchéité s'inscrit habituellement dans une gamme allant de 1 à 5 pour cent du coût total du pont. Etant donné son coût, l'utilisation d'un système d'étanchéité destiné à protéger la structure contre les détériorations est considérée comme parfaitement justifiée.

11) Les revêtements minces adhérant au béton ont donné des résultats satisfaisants, mais il est essentiel de se conformer aux procédures recommandées et les travaux ne devraient être entrepris que si l'on dispose de la main-d'oeuvre et de l'expérience que requiert une pose de béton de bonne qualité. Les revêtements en béton de la structure, sans chapes d'étanchéité spéciales, peuvent avoir une durabilité insuffisante dans des régions où l'on utilise des fondants chimiques, et il est nécessaire de prévoir l'emploi des bétons avec entraîneurs d'air qui devraient être soumis à un contrôle de qualité rigoureux. Les bétons sans entraîneurs d'air peuvent convenir dans des pays en voie de développement où l'on acceptera un revêtement de moindre qualité à cause des coûts inférieurs. Les revêtements en béton "flottants" posés sur un film mince d'étanchéité, procurent une certaine uniformité là où la route adjacente est en béton mais les revêtements minces adhérents constitueront vraisemblablement une meilleure solution s'il est possible de remplir les conditions que pose leur utilisation.

RECOMMANDATIONS POUR DES TRAVAUX FUTURS

La préparation de ce rapport a clairement mis en évidence un certain nombre de problèmes liés à l'étanchéité des tabliers de ponts en béton pour lesquels aucune solution absolument satisfaisante n'a encore été trouvée. Dans certains cas, une nouvelle étude du comportement des systèmes d'étanchéité existants pourrait fournir des informations utiles, mais dans d'autres cas, des travaux de recherche et de développement sont nécessaires. Des recommandations de travaux futurs considérés comme nécessaires par le Groupe de Recherche figurent ci-après.

- (1) Il est nécessaire d'effectuer des recherches sur les films d'étanchéité à base d'époxy, de polyuréthane et de types de matériaux analogues, en vue de déterminer les propriétés requises pour obtenir des performances encore satisfaisantes sur chantier. Ces exigences figureraient alors dans des directives d'emploi qui permettraient l'amélioration de ces travaux par l'industrie.
- (2) Il est nécessaire de procéder à l'étude des divers types de couches de décompression pour évaluer les avantages que procure leur utilisation. Leur capacité d'éviter le cloquage des chapes d'étanchéité ferait l'objet d'un soin particulier, ainsi que les inconvénients dus à toute diminution de l'adhésion au tablier, la possibilité qu'offre la couche de décompression de ménager un canal par lequel l'eau pourrait s'échapper d'une cavité et, l'installation de tubes de décompression/drainage partant de la couche.
- (3) Il convient d'étudier la stabilité mécanique de la chape d'étanchéité sous la charge de la circulation et les écarts thermiques. Il convient de tenir compte de l'absence d'adhésivité ou d'une adhésivité différente (due à la présence du matériau d'étanchéité ou d'une couche de décompression) ainsi que de l'épaisseur et de la capacité de déformation du revêtement hydrocarboné.
- (4) Il convient de mener des enquêtes pour évaluer l'efficacité de différents types de matériaux et de différents systèmes d'étanchéité. Les enquêtes comporteraient une évaluation détaillée du système d'étanchéité aux joints de dilatation, aux bordures et aux parapets, ainsi que des performances de tout système de drainage placé au-dessous de la surface. Les performances des divers systèmes seraient évaluées par rapport aux coûts de ces systèmes.
- (5) Il est nécessaire de mettre au point d'autres essais de laboratoire pour permettre (i) d'évaluer si ces matériaux et ces systèmes nouveaux sont acceptables avant de généraliser leur utilisation et (ii) de procéder à des essais de routine destinés à vérifier si ces matériaux approuvés sont conformes à leur description technique.
- (6) Il est nécessaire de poursuivre les travaux (i) sur la mise au point des méthodes de finition des surfaces adaptées à divers matériaux d'étanchéité et sur les traitements palliatifs des surfaces insuffisantes, (ii) sur la mécanisation de la pose des matériaux d'étanchéité et, (iii) sur l'amélioration des détails de la conception des joints de dilatation, des bordures et des remontées.
- (7) Il convient de poursuivre l'observation des revêtements en béton adhérents afin d'obtenir des informations sur leurs performances à long terme.

APPENDICES

- Appendice A : Propriétés mécaniques des matériaux d'étanchéité
- Appendice B : Essais sur des matériaux d'étanchéité
- Appendice C : Spécifications pour matériaux d'étanchéité
- Appendice D : Passage "en pleine dalle" des chaussées en béton de ciment sur les ouvrages d'art courant

APPENDICE A

PROPRIETES MECANQUES DES MATERIAUX D'ETANCHEITE

Le dimensionnement élargi des ponts modernes rend leur structure plus souple, et les contraintes qui se produisent dans le revêtement du tablier peuvent atteindre des valeurs élevées. Le comportement du tablier et de son revêtement peut être influencé par les facteurs suivants :

- (a) les chocs causés par les véhicules (le tablier de béton jouant le rôle d'enclume) ;
- (b) les véhicules lourds à déplacement lent (qui peuvent provoquer des déformations du revêtement par températures élevées) ;
- (c) les forces de freinage, d'accélération et les forces centrifuges ;
- (d) les déflexions répétitives de forme complexe, ainsi que les vibrations connexes pendant le passage des véhicules. Des rigidités différentes dans les sens transversal et longitudinal (comme dans le cas des tabliers orthotropes) peuvent augmenter la complexité de ces conditions ;
- (e) les vibrations à haute fréquence, dues au trafic, qui sont tout particulièrement indésirables, parce qu'elles tendent à séparer la chaussée du tablier ;
- (f) les contraintes thermiques.

Afin d'éviter les dégâts causés au tablier et à son revêtement, il serait souhaitable d'établir des critères qui définissent les limites acceptables en matière de déflexion et de vibration. Les vibrations, tant principales que secondaires, sont susceptibles d'exercer l'effet le plus important sur le revêtement, mais des études plus approfondies seraient nécessaires pour établir des critères bien déterminés.

La réaction dynamique d'un pont varie avec la vitesse du véhicule (26, 27) et les effets sur la structure et le revêtement pourraient devenir très importants s'il se produisait une résonance.

Les contraintes des vibrations et des chocs ont été étudiées dans le cadre des essais AASHO ; ces études ont confirmé que les charges par choc sont de 30 à 50 pour cent plus élevées que les valeurs représentées par les charges statiques.

Ce rapport examine les propriétés et les caractéristiques mécaniques qui sont requises pour la couche d'étanchéité, mais il ne s'occupe pas du problème général du comportement du tablier. On suggère (dans le présent Appendice) que l'une des fonctions de la couche d'étanchéité devrait être de fournir un amortissement mécanique entre le revêtement et le tablier. Ceci aura pour effet de réduire la transmission des contraintes de choc et de vibrations ; cela réduirait également la réflexion des forces de choc provenant de la masse rigide du tablier, qui est considérée comme étant particulièrement nuisible au revêtement.

Les contraintes au niveau de la couche d'étanchéité consistent en contraintes de compression et de tension verticales et de cisaillement horizontal, dues au freinage et à l'accélération. Tout en fournissant une certaine proportion de séparation mécanique, l'étanchéité doit préserver l'adhérence entre le revêtement et le tablier, et également maintenir une résistance adéquate aux forces de cisaillement par toutes les températures. L'asphalte pur ayant un point de ramollissement moins élevé est considéré comme étant le matériau le plus approprié, mais son épaisseur ne doit pas dépasser 4 à 5 mm afin d'éviter les déformations. L'inclusion de caoutchouc ou d'amiante améliorera leur sensibilité thermique. On obtiendra une meilleure stabilité avec du sable enrobé mélangé de sable ou des bitumes durs, plus particulièrement lorsqu'une couche ayant une épaisseur de 10 à 12 mm est nécessaire ; toutefois, ces matériaux sont moins appropriés pour les tabliers étanchés en béton. De nouveaux développements permettront peut-être de produire un matériau ayant toutes les propriétés rhéologiques nécessaires.

APPENDICE B

ESSAIS SUR DES MATERIAUX D'ETANCHEITE

(Voir également para. V.5.)

1. Essai de traction (Canada)

Le Department of Highways, de l'Ontario, effectue un premier essai de performance sur tous les nouveaux types de matériaux d'étanchéité qui sont présentés sur le marché. Cet essai consiste fondamentalement à étendre le système d'étanchéité sur deux dalles de béton, séparées par un interstice de 6 mm et à soumettre le système d'étanchéité à une extension de 50 % pendant 5 cycles, à une température de -23°C , en déplaçant mécaniquement les dalles. Les faiblesses inhérentes au système d'étanchéité apparaissent sous la forme de craquelures dans la région enjambée. Il ne semble pas qu'il existe, actuellement - en dehors de cet essai, beaucoup d'autres essais de recette ou de contrôle de qualité qui soient effectués de façon routinière par les différentes agences gouvernementales qui s'occupent de ce genre de travaux.

2. Programme d'essais pour évaluer la performance des films minces adhérent au support (France)

Les matériaux appropriés sont sélectionnés en mettant en application le programme d'essais suivant :

- (a) Essais d'adhérence. Ces essais sont effectués après que le spécimen ait été conservé pendant onze jours, soit
 - (i) dans des conditions ambiantes (température $22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, humidité relative $65\% \pm 5\%$), soit
 - (ii) dans des conditions ambiantes plus 24 heures à une humidité relative de 95 %, soit
 - (iii) aux conditions ambiantes suivies d'un choc thermique, consistant en 10 minutes à 120°C suivies d'une décroissance progressive jusqu'à 40°C au cours d'une période de 4 heures.
- (b) Essais d'extension longitudinale pour déterminer l'élongation maximum et la résistance à la rupture
 - (i) Les essais sont effectués à des vitesses d'extension de 10 mm/minute par des températures de 20°C et de 50°C après que le spécimen ait été conservé pendant 30 jours (aux conditions ambiantes : à l'exception du troisième et du quatrième jours, où la conservation est faite à $50^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}$);
 - (ii) des tests ultérieurs sont effectués à une vitesse de 10 mm/minute à 20°C et de 1 mm/minute à la température de -10°C après que le spécimen ait été soumis au traitement de choc thermique qui est décrit au paragraphe (a)(ii) ci-dessus.

- (c) Résistance à la fissuration. Des essais sont effectués à une vitesse d'extension de 1 mm/minute par 20°C, sur des échantillons conservés pendant 11 jours aux conditions ambiantes, et à une vitesse d'1 mm/minute par -10°C après avoir été soumis au traitement de choc thermique (décrit au paragraphe (a)(ii)).
- (d) Dureté. Des diagrammes montrant le développement de la dureté (mesurée à 24 heures, 48 heures, 11 jours et 30 jours), sont mis au point pour des spécimens conservés (i) aux conditions ambiantes, (ii) par 50°C et (iii) par 5°C.

3. Perméabilité des matériaux d'étanchéité (Allemagne)

Pour homologuer des matériaux d'étanchéité, on peut effectuer des essais conformément à la spécification DIN 1048, Section 5 ("Essais de perméabilité à l'eau"). Ces essais doivent tenir compte de la pression d'eau créée dans le revêtement pendant le passage des roues. Des essais effectués sur 15 mm d'asphalte pur (Réf. 28) montrent qu'il est étanche pour des pressions d'eau de 100 à 700 N/mm².

Des essais effectués sur d'autres revêtements hydrocarbonés ont indiqué de grandes différences selon le type et le pourcentage de vides du matériau.

4. Essais pour déterminer l'aptitude des matériaux d'étanchéité en résine époxy (Italie)

La qualité et les propriétés des matériaux en résine époxy doivent être déterminées par les essais suivants, afin d'évaluer leur aptitude pour l'étanchéité des tabliers de ponts. L'utilisation de matériaux modifiés tels que le brai poxy peut également être autorisée, sous réserve de résultats satisfaisants d'essais. Les essais sont généralement effectués par une température de 20°C.

- (i) masse volumique ;
- (ii) essai d'arrachage pour mesurer l'adhérence ;
- (iii) module d'élasticité, par essai spécifié dans ASTM/D747 ;
- (iv) effort direct de traction à l'âge de 11 jours (ne doit pas dépasser 2,5 KN/mm², ou bien, pour les bétons bitumineux grenus, 2,0 KN/mm²) ;
- (v) adhérence au béton, par essai de traction (sur une surface de 200 cm²) sur une couche de résine placée entre deux blocs de béton (teneur en ciment 400 kg/m³ et force de traction non inférieure à 3 KN/mm²). Les faces d'essai doivent être exemptes de laitance de ciment, et on conseille l'utilisation de faces sciées. Aucun arrachage au plan d'adhérence et aucun défaut à l'intérieur de l'épaisseur ne doit se produire pendant les 24 heures de la durée de l'essai. Par ailleurs, on peut pratiquer un essai indirect de traction sur un cylindre de béton ayant un diamètre de 150 mm et une longueur de 200 mm, cylindre qui a été coupé et puis réuni à l'aide de résine époxy le long du plan diamétral du défaut. Les exigences de performance sont semblables à celles de l'essai du bloc ;
- (vi) liaison ou adhérence entre l'acier et le béton. Deux baguettes en acier, ayant un diamètre de 20 mm, sont noyées dans un cylindre de béton, sur le tiers de sa longueur. Des essais d'arrachage sont effectués sur les baguettes, avec et sans adhésif d'époxy ;
- (vii) des essais de déflexion sur des profilés en acier revêtus de résine, qui ont été soumis à 1,2 fois la contrainte qui se produit dans l'armature de l'ouvrage. Il ne doit pas y avoir de défaut visible ou d'arrachage de la résine.

- (viii) essais de déflexion sur des blocs de béton. Après 11 jours, la résine ne doit pas présenter de fissure lorsque le bloc est chargé, jusqu'à ce qu'une fissure d'1 mm de large apparaisse dans le béton ;
- (ix) résistance au choc, sous le poids d'une masse en acier de 1 kg, tombant d'une hauteur d'1 m sur la surface couverte de résine d'une base en acier. Aucun défaut et aucun arrachage ne doivent se produire après 10 chocs en des positions distantes, l'une de l'autre, d'au moins 100 mm ;
- (x) étanchéité. Une étanchéité absolue est exigée sous des pressions équivalant à 10 atmosphères. L'essai se poursuit ensuite avec des augmentations de pression de 2 atmosphères toutes les 24 heures ;
- (xi) résistance à la compression, sur un cube de 100 mm de côté. Les résistances ne doivent pas être inférieures à 10 KN/mm² ;
- (xii) test thermique sur une résine appliquée à une surface d'acier, et soumise à 20 cycles, chacun d'une durée de 3 heures, la température changeant de -20°C à + 40°C. L'essai ne doit faire apparaître ni défauts ni arrachages ;
- (xiii) divers essais pour déterminer la résistance aux dégâts par des acides, huiles, carburants, lubrifiants, fondants chimiques et pulvérisation d'eau salée.

5. Essais sur éprouvettes de produit d'étanchéité prélevées sur un tablier de pont (Japon)

Des spécimens consistant en matériau d'étanchéité pris en sandwich entre le revêtement bitumineux et le tablier en béton, sont découpés dans le pont de façon à avoir la forme d'un prisme dont la surface est d'environ 100 x 100 mm. Des essais sont effectués pour déterminer (i) la résistance au cisaillement horizontal (résistance ultime au cisaillement et type de défaut), (ii) résistance aux vibrations. Le nombre de cycles (à 120 Hz) jusqu'à l'apparition du défaut et l'emplacement de ce dernier sont enregistrés. (iii) La résistance à la fissuration quand un spécimen partiellement découpé est soumis à 10⁶ cycles de vibrations ayant une amplitude de 0,5 mm et une fréquence de 30 Hz. (iv) Perméabilité sous une colonne d'encre rouge de 300 mm de hauteur, appliquée pendant 13 jours à la couche d'étanchéité ; toute pénétration de l'encre rouge dans le béton, à travers le matériau d'étanchéité, est enregistrée.

6. Performance des feuilles au droit d'une fissure du béton (R.U.) (4)

Un essai pour évaluer la capacité du matériau d'étanchéité à supporter l'ouverture d'une fissure dans un pont en béton, est effectué sur une éprouvette de ce matériau, appliquée sur une dalle de béton armé au milieu de laquelle est noyé un élément provoquant une fissure. Il est important que la surface de la dalle ait une finition et un damage aptes à produire des ondulations uniformes ayant une hauteur maximum de 3 mm, ce qui convient pour plusieurs matériaux.

L'essai consiste à charger le spécimen dans un petit gabarit de charge à une température de 20°C jusqu'à ce que le béton fasse des fissures. La feuille au-dessus de la fissure est alors maintenue sous observation constante, en utilisant un microscope si nécessaire, cependant que la charge continue jusqu'à ce que la fissure s'ouvre à une vitesse d'environ 0,2 mm/minute. Lorsqu'une seule fracture d'une longueur totale de 12 mm ou plus se produit, ou encore lorsque plusieurs fractures ayant une longueur totale de 25 mm se produisent, on mesure la largeur de la fissure, et si cette largeur n'est pas inférieure à 0,60 mm, le matériau convient pour une utilisation courante. Pour les tabliers où les contraintes de traction ne se produiront pas dans la surface supérieure, cette limite peut être réduite à 0,25 mm.

7. Résistance d'une feuille à un choc (R.U.) (4)

Un ciseau pesant un kilo est amené, par des guides appropriés, à tomber en chute libre, d'une hauteur de 200 mm, sur un échantillon de membrane d'étanchéité appliquée sur une dalle de béton ayant une finition appropriée. (Les extrémités des dalles utilisées pour les essais de fissures peuvent être utilisées). Le ciseau est large de 20 mm et comporte un angle de 90°. On effectue quarante essais en diverses positions, et on évalue les dommages subis par la feuille (en ne tenant pas compte de la couche adhésive) en se servant de l'échelle suivante :

- 0 pas de dégâts visibles
- 1 marques de surface uniquement
- 2 indentation mineure de la feuille
- 3 indentation importante mais pas de perforation
- 4 membrane perforée par pénétration partielle
- 5 feuille perforée par pénétration complète.

Si, pour tous les chocs, le matériau obtient une valeur moyenne de 3 ou moins, et que les 5 % au maximum des chocs se trouvent dans les catégories de 4 et 5, le matériau sera considéré comme ayant été accepté dans le cadre de cette évaluation.

APPENDICE C

SPECIFICATIONS POUR MATERIAUX D'ETANCHEITE

(Voir également Chapitre III et para. V.4 Tableau I)

1. Belgique

L'étanchéité ne doit être faite que par temps sec, après que la surface ait été nettoyée et soit devenue sèche. Des feuilles d'étanchéité sont utilisées pour des parois verticales et fortement inclinées, mais on peut utiliser de l'asphalte coulé pour la surface horizontale du tablier. Pour les deux systèmes, un vernis d'adhérence à base de brai de houille est appliqué sur le tablier à raison de 500 grammes par mètre carré. Les feuilles d'étanchéité sont appliquées en deux couches, avec une superposition d'au moins 150 mm aux jonctions entre les feuilles. Une superposition semblable doit être pratiquée à toutes les jonctions des feuilles avec l'asphalte coulé.

Les spécifications des matériaux sont les suivantes :

(a) Feuilles d'étanchéité

Les feuilles d'étanchéité d'un poids nominal de 350 gr/m^2 (poids total minimum pour deux couches de feuilles et d'adhésif de bitume = 1600 gr/m^2) doivent avoir une résistance longitudinale de 280 N et une résistance transversale de 170 N, une absorption maximum d'eau de 200 gr/m^2 et doivent être exempts de fissures à une température de $20^\circ \pm 2^\circ\text{C}$ et de toute rupture par $0^\circ \pm 2^\circ\text{C}$.

(b) Etanchéité en asphalte coulé étendu sur tissu de verre

Après avoir appliqué le vernis d'adhérence, du tissu de verre est déroulé sur la surface et maintenu en place par un filet de bitume mou. Le tissu de verre doit avoir un poids de 78 gr/m^2 , une épaisseur de 0,1 mm et le nombre de fibres par mètre doit être de 550 (chaîne) et 500 (trame). La résistance à la traction d'une bande large de 50 mm doit être de 600 N (chaîne) et de 550 N (trame). Tous les recouvrements doivent être de 250 mm. Le tissu doit être fourni en rouleaux d'une largeur allant de 1,40 à 2,00 m et d'une longueur de 200 mètres.

La couche d'étanchéité en asphalte coulé doit consister en 16 à 20 % de liant de bitume (ayant un point de ramolissement de 48 à 60°C) et d'un filler de calcaire ayant une dimension maximum de 4 mm. Un essai d'indentation Wilson (par 25°C sous une charge de 10 gr/mm^2 pendant 60 secondes) est effectué à l'aide d'un cylindre ayant un diamètre de 30 mm et une extrémité hémisphérique. L'enfoncement (de l'hémisphère) devra être de 30 à 120 (dixièmes de millimètre). L'asphalte est mélangé dans un malaxeur mécanique à une température contrôlée, et est placé en deux couches, pour donner une épaisseur totale de 15 mm. Il est étendu en bandes larges de 1,50 mètre, avec un décalage de 50 mm pour les jointures des deux couches. Les joints de la couche supérieure sont colmatés par réchauffement sur une largeur de 100 mm.

La couche de protection consiste en un liant de bitume à 8 ou 10 % ayant un point de ramollissement de 70 à 80°C et un filler de calcaire d'une dimension maximum de 12 mm. L'essai d'indentation Wilson (à 25°C sous une charge de 10 gr/mm² pendant 60 secondes) devra donner une valeur de 5 à 20. La couche de protection est mise en place dans les 48 heures qui suivent la mise en place de l'étanchéité. L'épaisseur ne doit pas être inférieure à 25 mm (moyenne de 30 mm) et la tolérance de l'état de surface ne devra pas dépasser 4 mm pour une longueur linéaire de 3 mètres.

2. Canada

L'utilisation des matériaux d'étanchéité varie selon les régions du Canada et peut inclure l'emploi de bitume liquide étendu sur le tablier de béton.

Un système de feuilles consistant en deux couches d'émulsion de bitume. (Spécification 37-GP-21*, type colloïde minéral) et une couche intermédiaire de matériau de renfort consistant en une toile de fibre de verre (Spécification 56-GP-13*, maille 10-20).

De l'asphalte pur contenant du caoutchouc, coulé à chaud, fabriqué et appliqué par des fournisseurs agréés qui ont mis au point leurs propres formules de mélange. Le liant consiste généralement en un minimum de 25 % d'asphalte naturel et un maximum de 75 % de bitume résiduel, qui, à eux deux, constituent non moins de 17 % du poids total de l'ensemble du mélange. Les miettes de caoutchouc représentent au moins 2% du poids du mélange, et le granulat fin consiste en calcaire concassé. On peut ajouter des agents de polymérisation.

De courtes fibres d'amiante incorporées dans le mélange chaud du revêtement de la chaussée, pour servir en tant que couche d'étanchéité. On ajoute environ 1,5 à 2 % du poids d'amiante (avec une augmentation correspondante de la teneur en asphalte) au mélange pour éliminer les vides et rendre ainsi la surface imperméable à l'eau.

Une couche en asphalte pur contenant du caoutchouc, placée en une simple couche d'une épaisseur de 4 à 5 mm. Lorsque c'est nécessaire, une couche consistant en un film de butyl-caoutchouc, peut être posée sur l'asphalte pur pendant qu'il est encore visqueux. L'asphalte pur doit être mis en place sur un béton préparé par l'application d'une couche d'accrochage pendant qu'il est propre et sec. Aucun travail de construction n'est autorisé sur l'asphalte jusqu'à ce qu'il ait complètement durci.

Des feuilles de caoutchouc, consistant en neoprène, avec un traitement (cure) à butyl sur une face et "semi-traité" sur l'autre, et des monomères diène éthylène propylène "non-traités" ou "semi-traités".

D'autres systèmes qui ont été essayés sur une base expérimentale comprennent le polyuréthane et une chape d'étanchéité consistant en caoutchouc synthétique liquide et résine, qui est couverte par une couche protectrice caoutchoutée de sable et asphalte.

3. France

(a) Etanchéité par matériaux asphaltiques (système à deux couches)

La première couche consiste en asphalte coulé, contenant de 13 à 18 pour cent de bitume 40/50 et ayant une indentation ne dépassant pas 80 dixièmes de millimètre à 25°C sous une charge de 30 kg pendant une minute avec un poinçon de 6,35 mm².

La seconde couche consiste en asphalte coulé porphyré, dont l'indentation doit être de 30 à 50 dixièmes de millimètres à une température de 40°C sous une charge de 52,50 kg pendant 30 minutes avec un poinçon de 5 cm².

* Spécification canadienne

(b) Étanchéité en asphalte coulé pur avec addition de caoutchouc (système à deux couches)

La teneur en bitume de la première couche d'asphalte est réglée de telle sorte que, avant l'addition de caoutchouc, le point de ramollissement (essai bille et anneau) soit de 83 à 85°C. L'addition de poudre de caoutchouc augmente d'environ 10°C le point de ramollissement.

La seconde couche consiste en asphalte coulé porphyré, dont l'indentation doit être entre 10 et 30 dixièmes de millimètres à 40°C sous une charge de 52,5 kg pendant 30 minutes, avec un poinçon de 5 cm².

4. Italie

Couche d'étanchéité en asphalte. Une couche de 8 mm d'asphalte est étendue sur le béton, qui peut être préparé par un enduit de bitume liquide ou d'émulsion de bitume à raison de 600 gr/m². Une couche de papier de construction (50 gr/m²), de papier-feutre bitume (200 gr/m²) ou de bisulfate de calcium (70 gr/m²) peut être utilisée pour empêcher le cloquage. Le papier peut être percé de trous ayant un diamètre de 4 mm (ayant une surface égale à 15 pour cent de la surface totale). Les feuilles doivent se recouvrir sur 80 à 100 mm et doivent être maintenues en position par du bitume. Cette étanchéité ne doit pas être séparée du tablier par un interstice où l'eau puisse se ramasser.

Le matériau d'étanchéité consiste en 93 à 94 % d'asphalte pur et 6 à 8 % de bitume. Il faut utiliser de l'asphalte naturel, ayant une teneur en bitume non inférieure à 6 %, mais on peut utiliser d'autres matériaux contenant, de préférence, une forme ou une autre d'asphalte naturel.

Le matériau doit être malaxé à des températures ne dépassant pas 180°C et être étendu sur une surface préparée sèche. Il doit être placé de sorte que les jonctions entre bandes adjacentes soient étanches.

Étanchéité par résine époxy. La surface de béton sur laquelle la résine époxy est appliquée doit être bien compactée, sèche et exempte d'huile, de graisse et de poussière. La préparation consiste en (i) un traitement à l'acide chlorhydrique, suivie d'un lavage approfondi avec eau sous pression, (ii) un brossage à l'aide d'une brosse en acier, suivi d'un nettoyage à l'aide de jets d'air comprimé et (iii) un décapage au sable, suivie de jets d'air comprimé. La couche d'étanchéité se compose d'une ou deux couches de résine (si la surface doit être décapée au sable, il faudra utiliser deux couches). Aux endroits où le trafic s'écoulera sur la chape, chaque couche est appliquée à 1,5 - 2,0 kg/m² mais aux endroits où elle doit être couverte d'une couche de revêtement bitumineux, l'application se fera à 0,7 - 0,8 kg/m², à moins que des microfissures ne soient escomptées, auquel cas l'application se fera à 1,5 kg/m². Le sable devra avoir une dimension allant de 0,5 à 1,0 mm et appartenir de préférence au type quartzeux. Le traitement devra être résistant aux intempéries, devra résister à l'huile et aux carburants et devra être capable de supporter l'application de bitume chaud. Il doit avoir une bonne adhérence au béton, une résistance à la traction non inférieure à celle du béton et ne devra pas être affecté par l'expansion et la contraction thermiques.

5. Les Pays-Bas

Couche de décompression en toile de fibre de verre et de bitume caoutchouté avec filler. Elle consiste en ceci :

- (i) une couche d'accrochage de solution de bitume avec additif d'élastomère synthétique, appliquée à raison de 250 gr/m² ;

- (ii) une couche de décompression consistant en toile de verre avec des ouvertures de maille de 4 x 5 mm et pesant 75 à 85 gr/m² ;
- (iii) un bitume caoutchouté avec filler, ayant un point de ramollissement (essai anneau et bille) de 95 à 115°C, appliqué sur une épaisseur de 4 à 5 mm. Les constituants sont un filler, du bitume asphaltique, un élastomère synthétique et des additifs. La teneur en bitume représente les 34 à 38 pour cent du poids; les propriétés du bitume sont : un point de ramollissement (anneau et bille) de 75 à 90°C et une pénétration au cône (à 10°C) d'un minimum de 2 kg/cm².

6. Espagne

- (a) couche d'accrochage : elle consiste en 25 à 30 % de bitume (60/80), 70-75 % de filler et 1,3 à 1,8 % de caoutchouc en poudre. Le mélange a un point de ramollissement de 90°C à 125°C ;
- (b) sable enrobé : il consiste en 12 à 16 % de bitume (30/40, 40/60), 20 à 30 % de filler et 60 à 70 % de sable ;
- (c) asphalte à froid (deux couches) 22-30 % émulsion (EAL-1), 2 à 4 % poudre d'amiante et 15 à 20 % de filler.

7. Suède

Deux types d'étanchéité sont standardisés :

(a) Feuilles de bitume

Une couche d'accrochage asphaltique à froid est appliquée à raison de 0,3 kg/m². Deux couches de feuille bitumée sont ensuite étendues sur du bitume chaud (A140) appliqué par brossage à raison de 1,5 kg/m². Les feuilles sont ensuite couvertes d'une troisième couche de bitume chaud et le système est protégé par 50 mm de béton armé. Le béton reçoit ensuite une première couche d'accrochage qui est recouvert de 75 mm de béton asphaltique étendu en deux couches.

(b) Asphalte pur

Une épaisseur de 10 à 12 mm d'asphalte pur est étendue sur une couche de décompression en toile de fibre de verre (ayant un poids de 0,3 kg/m² avec des faisceaux de fibres de 0,8 mm de diamètre, avec une maille de 5 mm). Ceci est couvert par une couche de protection de 10 à 15 mm de béton d'asphalte (posé à la main) et de 70 à 75 mm de béton de revêtement en béton bitumineux placé en deux couches.

Les feuilles bitumées sont le système le plus ancien. Le système en asphalte pur est au stade de développement et se répand de plus en plus.

APPENDICE D

PASSAGE "EN PLEINE DALLE" DES CHAUSSEES EN BETON DE CIMENT SUR LES OUVRAGES D'ART COURANTS

L'exécution des chaussées en béton de ciment se fait désormais en une seule épaisseur avec des machines de plus en plus lourdes et à grosse cadence d'exécution : les machines à coffrages glissants.

Pour tirer le meilleur profit de ces machines, les entreprises souhaitent limiter au maximum le nombre des arrêts, notamment au droit des tabliers des ouvrages d'art.

C'est pourquoi sur certains chantiers des essais ont conduit à faire passer "en pleine dalle" la machine sur les ouvrages d'art de faible ouverture.

Ils ont permis de mettre en évidence des avantages certains :

- une meilleure esthétique et un confort des usagers,
- un entretien ultérieur simplifié,
- une continuité dans le rythme du chantier,
- la suppression d'un travail artisanal ;

mais également des inconvénients :

- la nécessité de trouver un type d'étanchéité qui puisse supporter le trafic du chantier,
- un supplément de poids mort du tablier entraînant une augmentation du coût de l'ouvrage dès que sa portée devient importante.

En outre, on connaît encore assez mal le comportement dans le temps de ces couches de roulement, par exemple à la suite de tassements différentiels des appuis ou de déformation des tabliers en béton précontraint sous les phénomènes de retrait et de fluage.

Si des reprofilages ultérieurs de faible épaisseur s'avèrent nécessaires ils seront, dans le stade actuel de la technique, d'une exécution délicate, plus délicate que s'il s'agissait du reprofilage d'un béton bitumineux.

Comme il est actuellement difficile de chiffrer d'une façon précise la valeur économique des divers postes évoqués ci-dessus, il est impossible de fixer de façon stricte les limites du domaine d'emploi de cette technique. Chaque tronçon d'un itinéraire doit faire l'objet d'une étude particulière.

Peut-être dans quelques années l'expérience permettra de progresser d'une façon plus certaine dans cette voie.

REFERENCES

- 1) HIGHWAY RESEARCH BOARD Concrete Bridge Deck Durability, National Co-operative Highway Research Program, Synthesis of Highway Practice 4, 1970
- 2) OSLO KOMMUNE VEIVESENET Rapport om Reparasjonsarbeider Nydalen Bru Utfort 1968 Oslo 1969
- 3) ARMSTRONG M.D. and WAWRZYNSKI J. The Condition of Concrete Bridge Decks in Ontario, Department of Highways, Ontario October 1963
- 4) MACDONALD M.D. Waterproofing of concrete bridge decks. Road Research Laboratory Report in preparation
- 5) FERNANDEZ DEL CAMPO J.A. Recomendaciones para el proyecto y construcción de firmes sobre obras de fabrica. Laboratorio del Transporte y Mecanica del Suelo Publication 24, Madrid 1970
- 6) SAUTEREY R. Les chapes d'étanchéité. Les Journées des Ouvrages d'Art. Bulletin de Liaison des Laboratoires Routiers, mars 1969, p. 99-108
- 7) SMITH P. Observations on protective surface coatings for exposed or asphalt-surfaced concrete. Highway Research Board, Bulletin 323, p. 72-96
- 8) COMITE EUROPEEN DU BETON - FEDERATION INTERNATIONALE DE LA PRECONTRAINTTE International recommendations for the design and construction of concrete structures. June 1970
- 9) FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FUR DAS STRASSENWESEN E.V. Vorläufiges Merkblatt Brückenbeläge und - Abdichtungen auf Beton (Bituminöse Bauweisen) Ausgabe 1967
- 10) von STOSCH H.J. Überlegungen bei Planung und Bau bituminöser Brückenbeläge. Strassenbau-Technik. Heft 19/65
- 11) von STOSCH H.J. Brückenbeläge auf Beton. Strassen - und Tiefbau 3/70 165-74
- 12) FERNANDEZ DEL CAMPO J.A. Firmes sobre obras de fabrica. Materiales de Construccion, November 1969
- 13) BRITISH STANDARDS INSTITUTION Specification for mastic asphalt for building (limestone aggregate) British standard 988, 1097, 1076, 1451, 1966. London 1966
- 14) THE CONCRETE SOCIETY Paving and waterproofing for concrete decks of bridges and viaducts. London Nov. 1970
- 15) McCASKILL G.A., CRUMPTON C.F. and WENDLING W.H. Epoxy resin seal coats and epoxy mortar patching for bridge decks. Bridge deck deterioration study (Part 9) State Highway Commission of Kansas 1970

- 16) RILEY O. Development of a bridge deck protective system. Highway Research Board n° 173 13-24, 1967
- 17) BRONORMER 1969 Statens Vägverk PTB 103 113-129
- 18) ZOLLIKOFER J.W. Revêtement en béton sur les ponts La Route en Béton n° 52/53 April/July 1962
- 19) HILTON N. and HARDENBERG G. Port Mann Bridge Vancouver, Canada Proc. Inst. Civil Engineers 29 677-712 December 1964
- 20) GROUPE DE RECHERCHE ROUTIERE DE L'O.C.D.E. Corrosion des véhicules automobiles et influence des fondants chimiques, octobre 1969
- 21) GROUPE DE RECHERCHE ROUTIERE DE L'O.C.D.E. Dégâts hivernaux causés aux chaussées, mai 1972
- 22) CORKILL J.T. and LEE G.R. Effectiveness of bridge deck waterproofing in Ontario. Dept. of highways, Ontario. Report n° 57 September 1964
- 23) GEORGE J.D. and BROWNRIDGE F.C. Waterproofing bridge decks. Metropolitan Toronto Roads Dept. and Dept. of Highways, Ontario. November 1963
- 24) EMPA Ermüdungsversuche zur Abklärung der Statischen Mitwirkung von Betondeckbelägen bei Brücken mit Betonfahrbahnplatten, EMPA Report n° 38330/1, Dübendorf 1967 (English Translation by Cement and Concrete Association London, Translation n° 42, 1969)
- 25) SWISS STANDARD SNV - Norm 40498, December 1963
- 26) LINGER, D.A. and HULSBOS, C.L. Forced vibration of continuous highway bridges. Highway Research Board Bulletin 339, 1-22, 1962
- 27) OEHLER, L.T. Vibration susceptibilities of various highway bridge types. Journal of the Structural Division Amer. Soc. of Civil Engrs. 83 (ST4) Paper 1318, July 1957
- 28) BRAUN F. Bituminöse Beläge auf Brücken, Bitumen 28 (6), 177-184, Sept. 1966
- 29) A.N.A.S. Impermeabilizzazione di opere d'arte

LISTE DES PARTICIPANTS

Président Mr. J.A. LOE (Royaume-Uni)

Secrétaires techniques Mr. Vallantin (France)
Mr. Sauterey (France)

ALLEMAGNE Mr. ERNST
Abteilung Strassenbau des Bundesverkehrsministeriums
53 Bonn
Sternstrasse 100

Mr. MARTIN
Abteilung Strassenbau des Bundesverkehrsministeriums
53 Bonn
Sternstrasse 100

CANADA Mr. Alex RUTKA
Materials and Testing Engineer
Department of Highways
Downsview, Ontario

ESPAGNE D. Juan Antonio FERNANDEZ DEL CAMPO
Ingeniero de Caminos
Laboratorio del Transporte y Mecanica del Suelo
Alfonso XII, 3
Madrid 7

D. Alberto OROVIOGOICOECHEA ORTEGA
Ingeniero Industrial
Servicio de Materiales
3a Jefatura Regional de Carreteras
Botica Vieja, s/n
Bilbao 14

ETATS-UNIS Mr. Russell H. BRINK
Office of Research and Development
Bureau of Public Roads
Washington D.C. 20591

FINLANDE Mr. Aarre NIEMI
The State Institute for Technical Research
Road Laboratory
Otaniemi, Helsinki

FRANCE Monsieur VALLANTIN
S.E.T.R.A.
46, Avenue A. Briand
92 - Bagneux

Monsieur SAUTEREY
Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
(LCPC)
58, Boulevard Lefebvre
Paris 15ème

ITALIE Ing. Romano FOSCHI
Direz. Gen. ANAS
Via Monzambano
Roma

JAPON

Mr. Tetsuo KUNIHIRO
Chief, Bridge Section
Structure and Bridge Division
Chiba Branch
Public Works Research Institute
Ministry of Construction
4-12-52 Anagawa
Chiba shi, Chiba

LUXEMBOURG

Monsieur R. HOFFMANN
Chef du Laboratoire d'Essais des Matériaux des
Ponts et Chaussées
7-11 rue Albert 1er
Luxembourg

ROYAUME-UNI

Mr. J.A. LOE
Bridges Design Section
Transport and Road Research Laboratory
Old Wokingham Road
Crowthorne, Berks

SUISSE

Monsieur Herm. FRITZ, Dipl. Ing.
Vorsteher der Abteilung
"Strassenbau- und Isolierstoffe"
Eidg. Materialprüfungsanstalt
8600 Dubendorf

SECRETARIAT DE L'O.C.D.E.

Mr. B. HORN
Mrs. I. WARTELE

Les pays suivants ont contribué aux travaux du Groupe en répondant au questionnaire :

BELGIQUE

Ministère des Travaux Publics, Brussels
(Mssrs Doyen and Mahieu)

IRLANDE

The National Institute for Physical Planning and
Construction Research,
Dublin
(Mr. O'Keefe)

PAYS-BAS

Rijkswaterstaat Rijkswegenbouwlaboratorium
(Mr. Van de Fliert)
Delft

SUEDE

The National Swedish Road and Traffic Research Institute,
Stockholm
(Mr. N.G. Bruzelins)

LISTE DES PUBLICATIONS DU PROGRAMME DE RECHERCHE ROUTIERE

Construction routière

Recherche sur les glissières de sécurité (février 1969)
Corrosion des véhicules automobiles et influence des fondants chimiques
(octobre 1969)
Degâts hivernaux causés aux chaussées (mai 1972)
Méthodes accélérées de prévision de la durée de vie des chaussées (mai 1972)
Compte rendu du symposium sur le contrôle de la qualité des ouvrages routiers
(juillet 1972)

Sécurité routière

Alcool et médicaments (janvier 1968)
Sécurité des piétons (octobre 1969)
Comportement des conducteurs (juin 1970)
Compte rendu du symposium sur l'utilisation des méthodes statistiques dans
l'analyse des accidents de la route (septembre 1970)
Eclairage, visibilité et accidents (mars 1971)
Recherche sur la sécurité des intersections en zone urbaine (octobre 1971)
Campagnes de sécurité routière : calcul et évaluation (décembre 1971)

Circulation routière

L'aide électronique pour l'exploitation des autoroutes (avril 1971)
Régulation de la circulation en zone urbaine (février 1971)
Utilisation optimum des autobus en zone urbaine (mai 1972)
Routes à deux voies en rase campagne : caractéristiques routières, écoulement
de la circulation (juillet 1972)

Documentation Internationale de Recherche Routières (DIRR)

Règles de fonctionnement de la DIRR (novembre 1971)
Thésaurus de la DIRR (novembre 1971)
Liste des publications dépouillées par la DIRR (janvier 1971).

**OECD SALES AGENTS
DEPOSITAIRES DES PUBLICATIONS DE L'OCDE**

ARGENTINE

Libreria de las Naciones
Alsina 500, BUENOS AIRES.

AUSTRALIA - AUSTRALIE

B.C.N. Agencies Pty, Ltd.,
178 Collins Street, MELBOURNE 3000.

AUSTRIA - AUTRICHE

Gerold and Co., Graben 31, WIEN 1.
Sub-Agent: GRAZ: Buchhandlung Jos. A. Kienreich, Sackstrasse 6.

BELGIUM - BELGIQUE

Librairie des Sciences
Coudenberg 76-78 et rue des Eperonniers 56,
B 1000 BRUXELLES 1.

BRAZIL - BRESIL

Mestre Jou S.A., Rua Guaipá 518,
Caixa Postal 24090, 05000 SAO PAULO 10.
Rua Senador Dantas 19 s/205-6, RIO DE
JANEIRO GB.

CANADA

Information Canada
OTTAWA.

DENMARK - DANEMARK

Munksgaard Boghandel, Ltd., Nørregade 6
KOBENHAVN K.

FINLAND - FINLANDE

Akateeminen Kirjakauppa, Keskuskatu 2,
HELSINKI.

FORMOSA - FORMOSE

Books and Scientific Supplies Services, Ltd.
P.O.B. 83, TAIPEI,
TAIWAN.

FRANCE

Bureau des Publications de l'OCDE
2 rue André-Pascal, 75775 PARIS CEDEX 16
Principaux sous dépositaires:
PARIS: Presses Universitaires de France,
49 bd Saint-Michel, 75005 Paris.
Sciences Politiques (Lib.)
30 rue Saint-Guillaume, 75007 Paris.
13100 AIX-EN-PROVENCE: Librairie de l'Uni-
versité.
38000 GRENOBLE: Arthaud.
67000 STRASBOURG: Berger-Levrault.
31000 TOULOUSE: Privat.

GERMANY - ALLEMAGNE

Deutscher Bundes-Verlag G.m.b.H.
Postfach 9380, 53 BONN.
Sub-Agents: BERLIN 62: Elwert & Meurer.
HAMBURG: Reuter-Klöckner; und in den
massgebenden Buchhandlungen Deutschlands.

GREECE - GRECE

Librairie Kauffmann, 28 rue du Stade,
ATHENES 132.
Librairie Internationale Jean Mihalopoulos et Fils
75 rue Hermou, B.P. 73, THESSALONIKI.

ICELAND - ISLANDE

Snæbjörn Jónsson and Co., h.f., Hafnarstræti 9,
P.O.B. 1131, REYKJAVIK.

INDIA - INDE

Oxford Book and Stationery Co.:
NEW DELHI, Scindia House.
CALCUTTA, 17 Park Street.

IRELAND - IRLANDE

Eason and Son, 40 Lower O'Connell Street,
P.O.B. 42, DUBLIN 1.

ISRAEL

Emanuel Brown:
9 Shlomzion Hamalka Street, JERUSALEM.
35 Allenby Road, and 48 Nahlat Benjamin St.,
TEL-AVIV.

ITALY - ITALIE

Libreria Commissionaria Sansoni:
Via Lamarmora 45, 50121 FIRENZE.
Via Roncaglia 14, 20146 MILANO.
Sous-dépositaires:
Editrice e Libreria Herder,
Piazza Montecitorio 120, 00186 ROMA.
Libreria Rizzoli, Largo Chigi 15, 00187 ROMA.
Libreria Hoepli, Via Hoepli 5, 20121 MILANO.
Libreria Lattes, Via Garibaldi 3, 10122 TORINO.
La diffusione delle edizioni OCDE è inoltre assicu-
rata dalle migliori librerie nelle città più importanti.

JAPAN - JAPON

Maruzen Company Ltd.,
6 Tori-Nichome Nihonbashi, TOKYO 103,
P.O.B. 5050, Tokyo International 100-31.

LEBANON - LIBAN

Redico
Immeuble Edison, Rue Bliss, B.P. 5641
BEYROUTH.

THE NETHERLANDS - PAYS-BAS

W.P. Van Stockum
Buitenhof 36, DEN HAAG.

NEW ZEALAND - NOUVELLE-ZELANDE

Government Printing Office,
Mulgrave Street (Private Bag), WELLINGTON
and Government Bookshops at
AUCKLAND (P.O.B. 5344)
CHRISTCHURCH (P.O.B. 1721)
HAMILTON (P.O.B. 857)
DUNEDIN (P.O.B. 1104).

NORWAY - NORVEGE

Johan Grundt Tanums Bokhandel,
Karl Johansgate 41/43, OSLO 1.

PAKISTAN

Mirza Book Agency, 65 Shahrah Quaid-E-Azam,
LAHORE 3.

PORTUGAL

Livraria Portugal, Rua do Carmo 70, LISBOA.

SPAIN - ESPAGNE

Mundi Prensa, Castelló 37, MADRID 1.
Libreria Bastinos de José Bosch, Pelayo 52,
BARCELONA 1.

SWEDEN - SUEDE

Fritzes, Kungl. Hovbokhandel,
Fredsgatan 2, 11152 STOCKHOLM 16.

SWITZERLAND - SUISSE

Librairie Payot, 6 rue Grenus, 1211 GENEVE 11
et à LAUSANNE, NEUCHÂTEL, VEVEY,
MONTREUX, BERNE, BALE, ZURICH.

TURKEY - TURQUIE

Librairie Hachette, 469 Istiklal Caddesi, Beyoglu,
ISTANBUL et 12 Ziya Gökalp Caddesi, ANKARA.

UNITED KINGDOM - ROYAUME-UNI

H.M. Stationery Office, P.O.B. 569, LONDON
S.E.1. 9 NH
Branches at: EDINBURGH, BIRMINGHAM,
BRISTOL, MANCHESTER, CARDIFF,
BELFAST.

UNITED STATES OF AMERICA

OECD Publications Center, Suite 1207,
1750 Pennsylvania Ave, N.W.
WASHINGTON, D.C. 20006. Tel.: (202)298-8755.

VENEZUELA

Libreria del Este, Avda. F. Miranda 52,
Edificio Galipan, CARACAS.

YUGOSLAVIA - YUGOSLAVIE

Jugoslovenska Knjiga, Terazije 27, P.O.B. 36,
BEOGRAD.

Les commandes provenant de pays où l'OCDE n'a pas encore désigné de dépositaire
peuvent être adressées à :
OCDE, Bureau des Publications, 2 rue André-Pascal, 75775 Paris CEDEX 16
Orders and inquiries from countries where sales agents have not yet been appointed may be sent to
OECD, Publications Office, 2 rue André-Pascal, 75775 Paris CEDEX 16

PUBLICATIONS DE L'O.C.D.E.
2, rue André-Pascal, 75775 PARIS CEDEX 16

N° 30.746 1972
Dépôt légal 2371
IMPRIME EN FRANCE