

TECHNIQUES ANTI-REMONTÉES DES FISSURES

Guide d'emploi en chaussées aéronautiques



**SERVICE TECHNIQUE
DES BASES
AÉRIENNES**

AVRIL 1999

TECHNIQUES ANTI-REMONTÉES DES FISSURES

Guide d'emploi en chaussées aéronautiques

Ce document a été réalisé par le département Génie civil et pistes du STBA en partenariat avec le Laboratoire Régional de l'Ouest Parisien.

Il a été rédigé par Maurice LEFORT chef du groupe chaussées, Daniel SICARD chargé d'études au LROP et Paul MERRIEN chargé d'études au STBA.

SERVICE TECHNIQUE DES BASES AÉRIENNES

31 avenue du Maréchal Leclerc et de sa Division
94381 Bonneuil-sur-Marne Cedex

Tél. 01 49 56 80 00 - Fax 01 49 56 82 19

AVRIL 1999

Sommaire

INTRODUCTION	7
1 - DÉFINITIONS - RAPPELS	8
2 - REMONTÉE DES FISSURES DANS LES COUCHES DE SURFACE	9
3 - SIMULATION EN LABORATOIRE	11
4 - MESURES PRÉVENTIVES LORS DE LA CONSTRUCTION	13
4.1 LA FORMULATION DES MATÉRIAUX TRAITÉS	
4.1.1 choix du granulat	
4.1.2 influence de la granularité	
4.1.3 choix du liant	
4.2 DÉFINITION ET CONCEPTION DES STRUCTURES	
4.3 LA PRÉFISSURATION	
4.3.1 Préfissuration CRAFT	
4.3.2 Préfissuration Joints Actifs	
4.3.3 Préfissuration OLIVIA	
4.4 CHOIX DE LA COUCHE DE ROULEMENT	
5 - TECHNIQUES ANTI-FISSURES EN ENTRETIEN	22
5.1. INTERPOSITION D'UN ENROBÉ FIN	
5.2. INTERPOSITION D'UN GÉOTEXTILE	
5.3. INTERPOSITION D'UNE MEMBRANE	
5.4. RETRAITEMENT EN PLACE	
6 - AIDE AU CHOIX ET À LA DÉCISION	30
BIBLIOGRAPHIE	36

INTRODUCTION

Comme tous les gestionnaires, les exploitants d'infrastructures aéroportuaires s'efforcent de réduire leurs coûts et cette optimisation devrait impliquer de prendre en compte à la fois les dépenses d'investissement et celles de fonctionnement.

Ceci est particulièrement vrai pour les chaussées aéronautiques pour lesquelles la conception et l'entretien sont les facteurs prépondérants pour un fonctionnement continu de la plate-forme.

Dans ce domaine, le manque de maîtrise de la fissuration de retrait nuisible à l'étanchéité de la couche de roulement et donc à son comportement sous trafic, a conduit à renoncer aux structures semi-rigides en construction neuve.

Des progrès considérables ont été effectués dans la lutte contre les remontées de fissures tant pour les chaussées neuves que pour les autres pour autant que le procédé choisi soit adapté au problème à traiter. Certes la réapparition des fissures n'est que reportée, mais le différé obtenu est très appréciable notamment en coût d'entretien.

C'est dans ce but, et à la suite d'une enquête effectuée auprès des services locaux des bases aériennes, que le STBA a rédigé avec l'aide du réseau des Laboratoires des Ponts et Chaussées un guide traitant des moyens disponibles pour lutter contre les remontées de fissures tant en construction neuve qu'en entretien.

Ce guide s'adresse aux concepteurs et à la maîtrise d'œuvre afin de les aider dans le choix de la solution la mieux adaptée aux exigences techniques et économiques de leurs projets.

Le guide est organisé en six chapitres :

- chapitre 1 : rappel de la différence entre fissure de retrait et fissure de fatigue
- chapitre 2 : propagation d'une fissure dans une structure
- chapitre 3 : simulations en laboratoire
- chapitre 4 : moyens pour limiter les conséquences de la fissuration en construction neuve
- chapitre 5 : techniques d'entretien pour limiter les conséquences des remontées de fissures
- chapitre 6 : tableaux d'aide au choix du procédé

Ce guide (en particulier le chapitre 6) a été établi à partir d'expériences aéroportuaires réelles. Il n'a pas de caractère exhaustif et toute nouvelle expérience serait appréciée pour confirmation ou amendement du travail effectué notamment en construction neuve.

1 Définitions - rappels

Les problèmes de la fissuration des assises de chaussées et celui de la remontée des fissures à travers les couches de surface sont complexes ; ils appellent encore des innovations dans la conception des structures, dans la nature des matériaux et dans le développement de techniques habituellement présentées comme des techniques anti-fissures. En chaussées aéronautiques, les problèmes sont identiques à ceux de la route mais avec des conséquences accentuées concernant essentiellement l'uni et l'étanchéité.

Avant d'aborder le développement de ce guide technique, il est nécessaire de rappeler la différence entre la fissuration de retrait des assises traitées avec un liant hydraulique et la fissuration de fatigue.

La première intervient sous l'effet du retrait, au moment où la contrainte de traction engendrée dans le matériau par la prise atteint une valeur proche de la résistance en traction. Dans le domaine de la fissuration de retrait on a l'habitude de distinguer deux types de retraits élémentaires :

- 1- **les retraits primaires** qui comprennent le retrait avant durcissement et le retrait hydraulique. Ils sont responsables des premières mises en contrainte lente du matériau après sa mise en œuvre; ils se produisent alors que le matériau est encore peu résistant ;
- 2- **le retrait thermique**, associé soit aux variations journalières soit aux variations annuelles de température. Les premières peuvent se situer entre 20 et 30° C, tandis que les secondes peuvent atteindre 50 à 60° C.

On classe les fissures de retrait à partir de différents paramètres d'identification, ce qui permet d'appréhender leur gravité depuis un état initial (fissures transversales, fines peu ouvertes et non dédoublées par exemple) jusqu'à son état ultime lorsque la fissure de retrait a évolué sous la forme d'une zone faïencée.

Les fissures de fatigue peuvent être classées suivant les mêmes paramètres, mais ces fissures de fatigue apparaissent généralement dans le sens longitudinal, au niveau des voies de circulation.

La fissure de fatigue est la conséquence d'une insuffisance structurelle de la chaussée. Elle précède la période de destruction totale de la chaussée. Elle est provoquée, pour des structures à assises traitées, par des contraintes de traction par flexion excessives dans les assises. Pour les structures souples elle est la conséquence d'un excès de déflexion qui engendre des contraintes de traction excessives à la base de la couche de roulement.

Les stratégies d'entretien adoptées pour les réseaux routiers sont telles que généralement la structure est renforcée en action préventive dès les premiers signes de fatigue d'une structure de manière à arrêter le processus d'évolution de la chaussée.

C'est pourquoi en France :

- les problèmes liés à la fissuration,
- les recherches faites à ce sujet,
- les expérimentations organisées pour tester des procédés concernant essentiellement la fissuration de retrait des assises.

2 Remontée des fissures dans les couches de surface

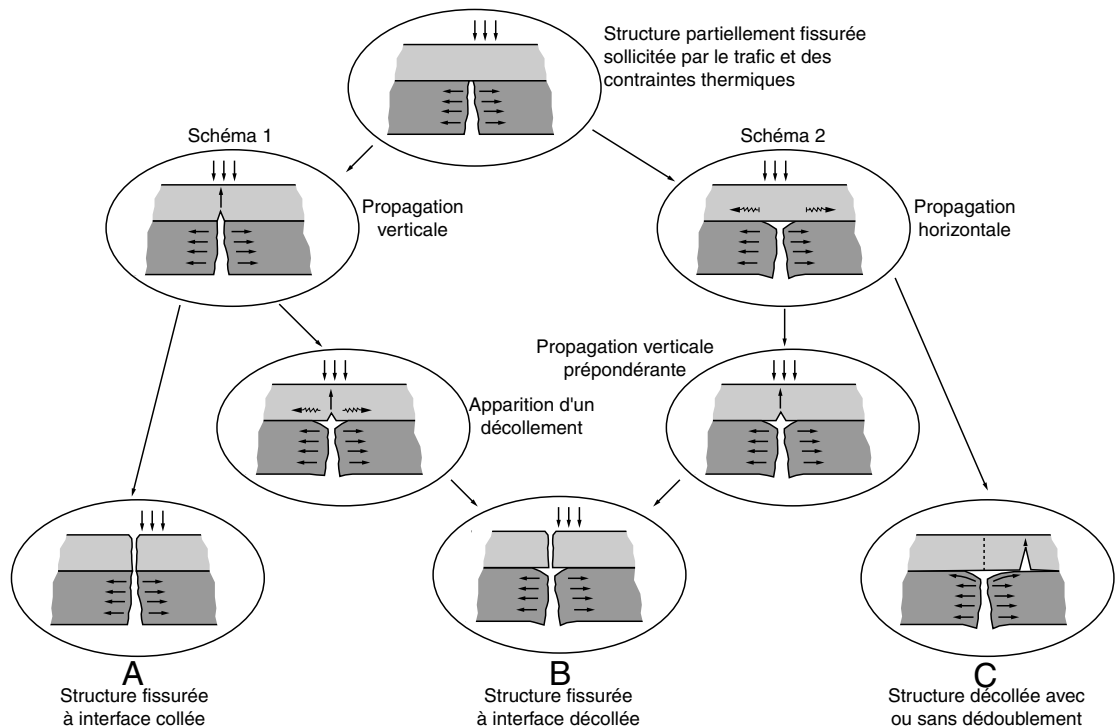


Figure 1 : Cheminement d'une fissure

La propagation d'une fissure dans la couche de roulement d'une structure dont la couche de base est fissurée découle d'une alternative :

- soit décollement de l'interface (propagation horizontale),
- soit propagation verticale en prolongement de la fissure existante.

Cette alternative est régie par le rapport entre l'effort tendant à propager la fissure dans une direction donnée et la résistance qu'opposent les matériaux à cette propagation.

Les différentes possibilités de cheminement d'une fissure sont présentées sur le schéma de la figure 1.

Le schéma 1 est la conséquence d'une excellente liaison à l'interface couche de roulement couche de base. La fissure se propage d'abord verticalement dans la couche supérieure. Au cours de cette propagation, s'il n'y a pas fatigue de l'interface la fissure débouche en surface en conservant l'interface collée (schéma A). Si l'interface fatigue, il y a apparition d'un décollement de part et d'autre de la fissure simultanément à la remontée de la fissure en surface (schéma B).

Le deuxième schéma de propagation de la fissure (schéma 2) est caractérisé par une interface à liaisons faibles où la propagation est dans un premier temps essentiellement horizontale. Cette propagation se stabilise et le processus se poursuit par une amorce dans la couche de roulement soit au droit de la fissure d'assise (schéma B), soit à l'extrémité du décollement ou au deux endroits à la fois (schéma C).

Ces schémas de propagation conduisent à des temps de remontée de la fissure très variables. Le décollement est un facteur favorable pour retarder le processus de remontée ; par contre il conduit ensuite à une situation plus défavorable. En effet l'évolution de la fissure remontée en surface est nettement plus rapide (épaufures, dédoublement, ramification, faïençage et départ de matériaux).

On voit donc les objectifs qui vont être visés avec les techniques anti-remontée de fissures :

1- créer des liaisons ou donner aux matériaux des résistances à la propagation

aussi élevées que possible en particulier lorsque les conditions climatiques sont défavorables (temps froid) ;

2- conduire la propagation de la fissure de manière à allonger son parcours avant son arrivée en surface. Pour ce faire on cherchera à créer une interface qui le permette en évitant les inconvénients d'un décollement vis-à-vis de l'évolution de la fissure remontée.

3 Simulation en laboratoire

Les recherches sur le sujet ont toujours compris une simulation en laboratoire du processus de propagation de la fissure.

En France le système retenu est une machine de retrait flexion élaborée et opérationnelle au laboratoire régional des ponts et chaussées d'Autun.

L'essai consiste à suivre la vitesse de remontée d'une fissure au travers d'un complexe constitué du système destiné à retarder la réapparition des fissures en surface que l'on veut étudier et d'une couche de roulement.

Chaque éprouvette représentative du complexe est soumise, dans des conditions de température constante (5° C) à deux sollicitations simultanées :

- une traction longitudinale continue lente, simulant le retrait thermique de la structure,
- une flexion verticale cyclique, à la fréquence de 1Hz, simulant le trafic.

La progression de la fissure est suivie par le biais d'un réseau de fils conducteurs qui se brisent lorsque la fissure les atteint.

Le schéma figure 2 décrit la machine et ses principaux organes.

Dans les conditions expérimentales l'essai permet d'estimer différentes caractéristiques liées à l'efficacité du complexe étudié :

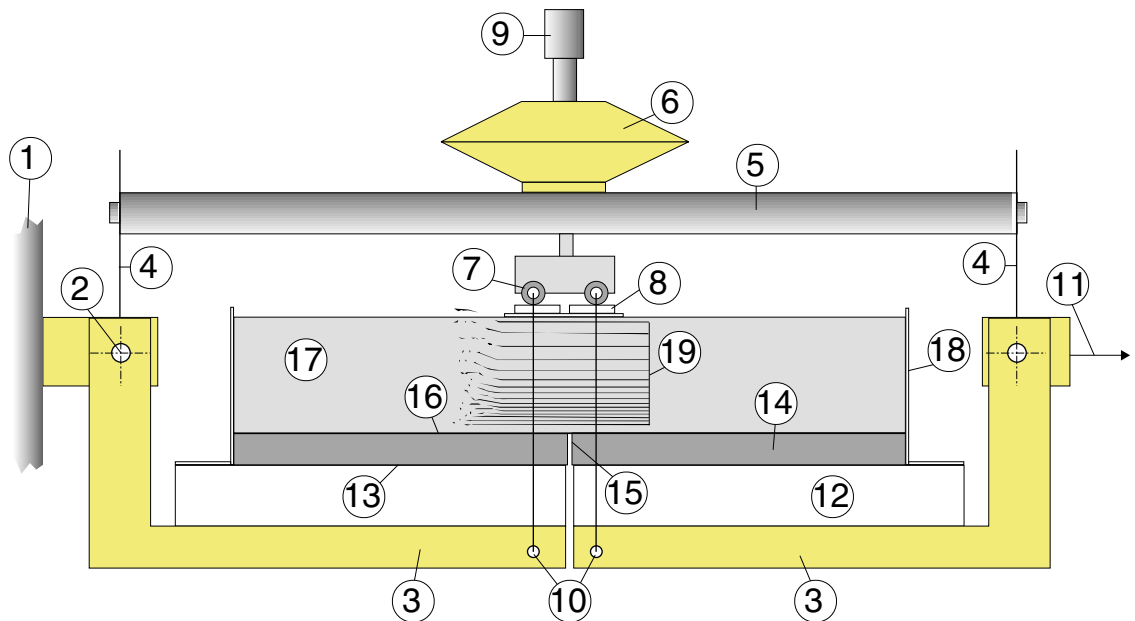
- l'initialisation de la fissure dans la couche de roulement.
- la vitesse de propagation.
- le temps de fissuration complète du complexe.

Cette machine permet de tester tous les complexes antifissures proposés par les entreprises de manière à les apprécier comparativement au travers d'un coefficient « r » qui est le rapport entre le temps de fissuration des couches testées et le temps de fissuration d'un complexe bicouche témoin considéré comme très efficace (sable enrobé + béton bitumineux 0/10 au bitume pur)

- si $r < 0,7$ le système est jugé inefficace.
- si $0,7 < r < 0,9$ le système est moyennement efficace.
- si $r > 0,9$ le système est très efficace.

Pratiquement tous les procédés proposés sur le marché ont fait l'objet d'un test sur la machine d'Autun et conduisent à une efficacité vis-à-vis de la remontée des fissures.

Il convient cependant de vérifier que le produit mis en œuvre sur un chantier correspond bien en composition et nature de constituants à celui qui a été testé en laboratoire.



- 1 Bâti de machine
- 2 Axes de pivotement des plaques en L
- 3 Plaques en L
- 4 Lames souples
- 5 Traverse supérieure de réaction de vérin
- 6 Vérin pneumatique à course réglable
- 7 Galets
- 8 Plaques d'appui
- 9 Réglage de la course du vérin pneumatique
- 10 Biellettes de transmission de flèche aux plaques en L
- 11 Vérin de traction à vis
- 12 Plaques de base boulonnées sur les plaques en L
(épaisseurs variables suivant l'épaisseur des éprouvettes)
- 13 Collage de l'éprouvette sur plaques de base
- 14 Couche de 1,5 cm de BB au soufre préfissuré simulant l'ancienne
chaussée fissurée
- 15 Préfissure (feuille carton)
- 16 Interface éventuelle (géotextile, membrane, pontage)
- 17 Corps d'éprouvette, couche de roulement
- 18 Clinquant collé interdisant les mouvements verticaux des extrémités
de l'éprouvette tout en permettant un mouvement horizontal
(par rapport aux plaques de base)
- 19 Réseau de détection de fissure

Figure 2 : Schéma de principe de la machine de retrait flexion

4 Mesures préventives lors de la construction

Les moyens pour limiter en construction neuve les conséquences de la fissuration des assises traitées aux liants hydrauliques

Initialement la fissuration de retrait n'est pas apparue problématique ; elle était même considérée comme un signe de qualité et par ailleurs le défaut d'imperméabilité qu'elle engendrait pouvait être corrigé par le développement de techniques de colmatage des fissures.

S'agissant des routes, l'évolution des exigences des usagers quant à la qualité d'usage des chaussées a contraint les maîtres d'ouvrage à lutter contre cette fissuration.

La même exigence peut être formulée pour les chaussées aéronautiques pour lesquelles la tendance est à l'abandon de la technique de la couche de base alors qu'aujourd'hui le maître d'œuvre dispose de différents moyens que l'on peut classer de la manière suivante :

- la formulation des matériaux traités,
- la définition et la conception des structures,
- la préfissuration,
- le choix de la couche de roulement,

moyens qui permettent de reconsidérer cette position.

4.1 La formulation des matériaux traités

C'est à partir d'études de laboratoire que l'on peut appréhender l'influence des paramètres de formulation sur la fissuration. Dans ces études cependant il faut nettement séparer les causes de la fissuration : le retrait de prise d'une part et le retrait thermique d'autre part. Ce dernier peut être étudié à partir de la connaissance d'un certain nombre de caractéristiques des mélanges à un âge donné et notamment :

- la résistance et le module de déformation en traction,
- le coefficient de dilatation thermique,
- le comportement au fluage sous des chargements lents.

Le retrait de prise quant à lui nécessite des études spécifiques.

Le comportement global d'une couche de chaussée traitée dépend du comportement du matériau vis-à-vis de ces deux types de retrait, le retrait de prise ou retrait à court terme pouvant initialiser des fissures qui deviennent visibles lorsque le retrait thermique vient s'y superposer.

4.1.1 Choix du granulat

Compte tenu du fait qu'il constitue entre 80 et 95 % en poids du mélange c'est un élément important en ce qui concerne le comportement des assises traitées avec un liant hydraulique vis-à-vis de la fissuration.

La nature chimique et minéralogique du granulat peut influencer de diverses manières le comportement à la fissuration :

- influence sur la cinétique de prise (en général pour un liant donné la prise est plus rapide avec un matériau calcaire qu'avec un matériau siliceux),

- influence sur la déformabilité du matériau,
- influence sur le coefficient de dilatation thermique.

Vis-à-vis de la fissuration on peut considérer comme du second ordre l'influence du granulats à travers la cinétique de prise et la déformabilité du matériau. Par contre la différence des coefficients de dilatation thermique entre les granulats calcaires et siliceux est le paramètre mis en avant pour expliquer les comportements différents constatés sur les chantiers utilisant ces deux types de granulats.

Les valeurs des coefficients de dilatation thermique λ des granulats à l'état massif (10 à $12 \cdot 10^{-6}$ pour les matériaux siliceux et 6 à $8 \cdot 10^{-6}$ pour les calcaires) ne peuvent être prises en compte directement pour les matériaux composites surtout lorsque la part de liant n'est pas négligeable (laitier ou cendres volantes silico alumineuses).

On a l'habitude de considérer qu'un mètre de chaussée s'allonge ou se rétrécit de 10 microns par degré de température car il y a eu très peu de mesures de coefficient de dilatation thermique. Les trois valeurs mesurées que l'on peut retenir concernent une même grave laitier (mélange où le granulats a le moins d'influence sur le coefficient de dilatation) avec des origines de granulats différents :

granulats granitiques	$\lambda = 11 \cdot 10^{-6}$
granulats alluvionnaires siliceux	$\lambda = 11 \cdot 10^{-6}$
granulats calcaires	$\lambda = 8 \cdot 10^{-6}$

4.1.2 Influence de la granularité

L'influence de la granularité apparaît avec la dimension du plus gros élément (D) du mélange. Pour un même granulats la diminution du D permet en général, d'augmenter la déformabilité avant rupture en améliorant l'homogénéité des mélanges et en multipliant les liaisons liant granulats.

Par ailleurs, la réduction de D permet, pour une même résistance, d'obtenir des modules de déformations moins élevés, donc d'augmenter la déformabilité des matériaux traités comme le montre le graphique figure 3.

4.1.3 Choix du liant

Les essais en laboratoire montrent que la déformation à la rupture des matériaux traités aux liants hydrauliques varie peu en fonction de la teneur en liant dans la gamme des dosages utilisés pour les assises de chaussées.

Mais c'est la nature du liant qui a une influence certaine sur la fissuration.

Ce que l'on constate, c'est que la vitesse de prise et l'augmentation des résistances jouent très directement sur l'espacement entre les fissures et affectent le comportement d'un matériau traité vis-à-vis de la fissuration.

On notera que les liants pulvérulents (ciments, liants routiers, ...) conduisent à une fissuration de retrait plus forte que les laitiers par exemple.

On note également que le type d'activation des laitiers peut être favorable comme

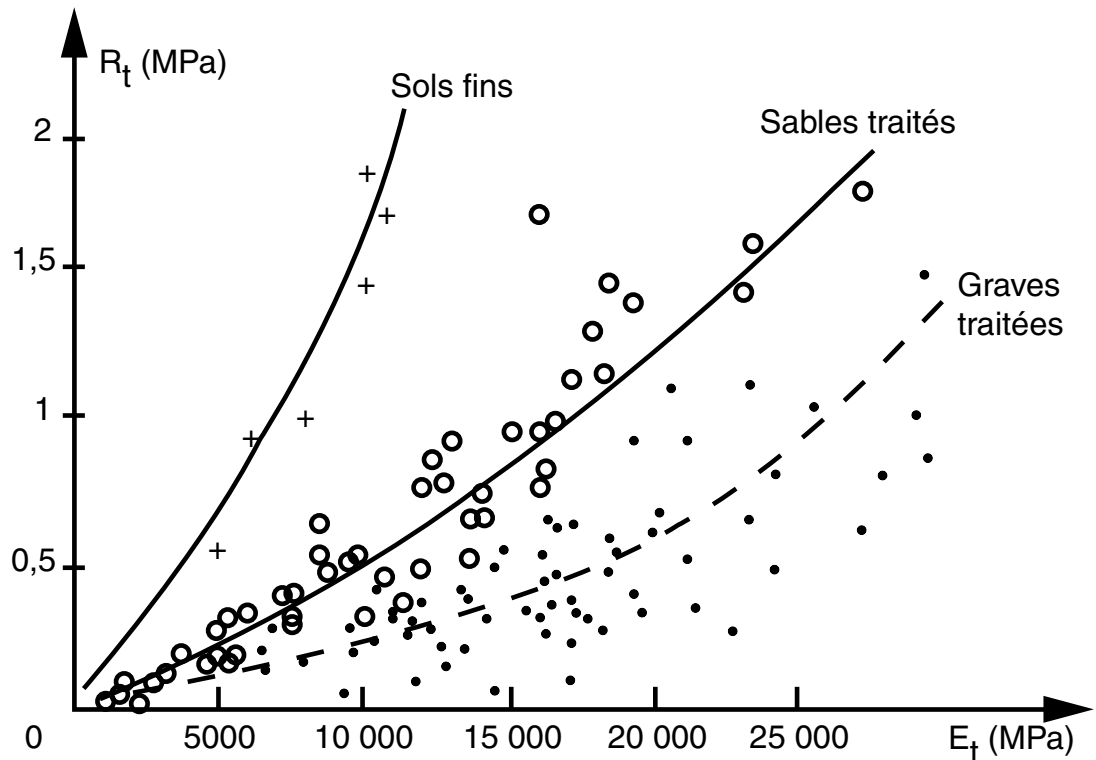


Figure 3 : Relations entre la résistance en traction et le module pour les graves, sables et sols fins traités.

l'activation sulfatique qui permet, à résistance égale d'obtenir des matériaux ayant un meilleur allongement à la rupture donc un meilleur comportement devant les contraintes de retrait.

C'est pour atteindre cet objectif que certaines entreprises développent des techniques de traitement en associant le liant hydraulique à une émulsion de bitume. Ces liants composés conduisent à des matériaux qui, vis-à-vis de la fissuration ont un comportement plutôt favorable même s'il s'agit de « techniques particulières » pour lesquelles des observations et études complémentaires sont encore nécessaires pour maîtriser leur compréhension.

D'autres paramètres tels que la compacité, la teneur en eau, la présence de fines argileuses dans le mélange, peuvent être cités pour caractériser le comportement des matériaux vis-à-vis de la fissuration mais leur influence peut être considérée comme de second ordre par rapport à la granularité et à la nature des granulats et du liant.

Les chaussées aéronautiques, comme les chaussées routières peuvent faire appel aux techniques de traitement avec un liant hydraulique dont les avantages sont loin d'être négligeables, en face de charges de plus en plus lourdes. Les études de formulation permettent de limiter les inconvénients de l'inévitable fissuration de retrait.

4.2 Définition et conception des structures

La construction d'une chaussée, qu'elle soit routière ou aéronautique, fait appel à différents matériaux ordonnancés de telle manière que l'ouvrage ainsi construit satisfasse le maître d'ouvrage par un bon comportement sous les sollicitations du trafic et les contraintes de l'environnement.

Après les structures souples du début du siècle faites avec des matériaux plus ou moins élaborés mais non liés, les dernières décennies ont vu une utilisation quasi générale de matériaux traités. Le type de structure qui en découle est une structure semi-rigide avec l'emploi de matériaux traités avec un liant hydraulique et dont les conséquences sont les problèmes liés à la fissuration de retrait. Si de telles structures se sont largement développées c'est aussi le résultat des crises pétrolières qui ont incité les maîtres d'œuvre à économiser le bitume.

Aujourd'hui, de nouvelles structures de chaussées existent pour utiliser au mieux les qualités des matériaux traités aux liants hydrauliques en ayant l'assurance de limiter au maximum les conséquences de leurs fissures de retrait.

Le premier type de structure correspond aux structures mixtes. La couche de fondation est un matériau traité avec un liant hydraulique. La couche de base est en grave bitume et constitue avec la couche de roulement une couverture bitumineuse suffisamment épaisse pour que l'on soit assuré que la fissuration de retrait de la couche de fondation n'arrive pas en surface pendant la durée de service considérée. **Pour cela, l'épaisseur de la couverture bitumineuse doit être au moins égale à l'épaisseur de l'assise hydraulique.**

Le deuxième type de structure qui a été imaginé correspond aux structures inverses. La couche de fondation est toujours réalisée avec un matériau traité avec un liant hydraulique, mais la couche de base réalisée avec une grave bitume améliorée repose sur une couche dont l'épaisseur est de l'ordre de 10 cm en grave recomposée humidifiée qui s'intercale pour former un écran à la remontée de la fissure de la couche de fondation. **Ce type de structure qui nécessite une grave non traitée d'excellente qualité ne paraît pas compétitive économiquement dans les régions pauvres en granulats de ce type.**

D'autres matériaux peuvent encore voir le jour, et faire naître d'autres types de structures. Parmi les innovations dans ce domaine on peut citer l'apparition de matériaux traités avec un liant composé qui marie le liant hydraulique et le bitume. Au stade de l'innovation dans deux entreprises françaises et développée également en Allemagne, **cette technique n'offre pas assez de recul pour assurer qu'elle permettra de concevoir des ouvrages sans fissuration de retrait.**

Une meilleure connaissance du matériau est nécessaire en particulier pour arriver à dimensionner la structure en adéquation avec son fonctionnement.

D'autres types de matériaux qui, s'ils ne conduisent pas à de nouvelles structures, peuvent être présentés comme des matériaux hydrauliques sans problème de fissuration soit par une formulation ou un liant adapté, soit par ajout de fibres. Ce type de produit demeure, compte tenu de son coût, d'un emploi limité au cas particulier ou expérimental.

La construction de structures aéronautiques neuves peut faire appel à des matériaux réputés fissurants par la conception de la structure qui les intègre. Les résultats obtenus dans le domaine routier sont transposables; d'autres voies peuvent être explorées comme par exemple l'association de « matériaux hydrauliques » à des « matériaux bitumineux » obtenus par traitement à froid.

4.3 La préfissuration

La préfissuration consiste à provoquer la fissure de retrait de l'assise hydraulique à l'endroit où on le désire. En provoquant cette fissure tous les 2 ou 3 mètres on constate que lorsque la fissure remonte à la surface de la chaussée elle est rectiligne ce qui ne peut que faciliter un éventuel entretien.

La deuxième constatation qui est faite concerne l'évolution des fissures remontées en surface. D'une part elles correspondent toujours à une préfissuration de l'assise ; d'autre part elles sont fines et leur évolution est beaucoup moins dommageable que celle d'une fissuration naturelle.

Trois techniques de préfissuration sont aujourd'hui développées par les entreprises routières françaises. Ces trois techniques, décrites ci-après, sont opérationnelles. L'efficacité des matériels pour localiser la fissuration dans l'assise est garantie en particulier pour les deux techniques qui font l'objet d'un avis technique du comité français pour les techniques routières (CFTR).

Avec ces trois techniques de préfissuration qui permettent l'obtention d'une fissuration maîtrisée, plus fine et moins évolutive, l'idée a germé de reconsidérer le dimensionnement des assises préfissurées. Actuellement des études sont en cours, principalement dans le domaine du calcul des structures par la méthode des éléments finis, à l'aide du programme CESAR 3 dimensions. Elles sont suivies par des chantiers expérimentaux réalisés dans le cadre de la Charte innovation mais les conclusions n'en sont pas encore tirées.

À ce jour une réduction d'épaisseur des assises préfissurées par rapport aux épaisseurs obtenues sans préfissuration n'est pas admise et doit être considérée comme expérimentale.

4.3.1 Préfissuration CRAFT. (création automatique de fissures transversales)



Photo 1

Photographie EUROVIA (CBC)



Photo 2

Photographie EUROVIA (CBC)



Photo 3

Photographie EUROVIA (CBC)

Elle fait l'objet de l'avis technique du SETRA n° 70 de juillet 1993. Elle consiste à annihiler la prise de la grave hydraulique en injectant une émulsion de bitume dans le sillon formé par un doigt vibrant. La technique est mise en œuvre sur la couche d'assise régaliée, avant les opérations de compactage. Le dispositif est fixé à l'avant d'un tracteur (photo 1) qui porte également la réserve d'émulsion (photos 2 et 3). L'ensemble du mouvement est automatisé. Le pas de la préfissuration est généralement de 3 mètres. La cadence d'exécution est telle que la préfissuration ne diminue pas les cadences normales de chantier, mais allonge l'atelier de mise en œuvre, c'est à dire que le délai de maniabilité du mélange doit tenir compte de cette opération supplémentaire au même titre que le transport et le compactage. Cette technique est développée par l'entreprise EUROVIA (Cochery Bourdin et Chaussé).

4.3.2 Préfissuration Joints actifs



Photo 4

Photographie SACER



Photo 5

Photographie SACER



Photo 6

Photographie SACER

La préfissuration est créée par la mise en place dans l'assise d'un insert ondulé en matière plastique (photo 4). L'insert est posé tous les deux mètres à l'aide d'une machine spécifique ; il est long de 2,30 à 2,90 m. La hauteur peut aller de 18 à 24 cm.

L'opération s'effectue après le réglage du matériau et un premier pré compactage. Le sillon formé par un disque (photo 6) permet de poser manuellement l'insert. Le passage de deux coupeurs permet de remblayer et serrer le matériau de part et d'autre du joint (photo 5). La technique joints actifs développée par l'entreprise SACER permet un engrènement des parties de l'assise de part et d'autre de la fissure formée, quel que soit le matériau (matériau tendre ou sable). Elle fait l'objet de l'avis technique C.F.T.R. n° 102 de Juillet 1997.

4.3.4 Préfissuration OLIVIA



Photo 7



Photo 8



Photo 9

Un soc (photo 8) qui se déplace transversalement dépose dans l'épaisseur de la couche un ruban de plastique souple (quelques 1/10e de mm d'épaisseur) (photo 9).

La translation du soc est réalisée à l'aide d'un appareil monté sur un véhicule porteur (généralement un tracteur) qui assure son transfert d'une préfissure à l'autre (photo 7).

La hauteur du film est adaptée à l'épaisseur de la couche d'assise (entre 1/3 et 1/5 de l'épaisseur). Elle est en général de 80 mm. Le film est centré dans l'épaisseur de la couche.

Le pas de la préfissuration est de 3 mètres. L'engin de préfissuration se place après le réglage et avant le compactage. Comme pour les autres techniques, il ne ralentit pas les cadences de chantier mais il allonge l'atelier de mise en œuvre ce qui nécessite un délai de maniabilité du matériau adapté en conséquence. Cette technique est développée par l'entreprise EUROVIA (VIAFRANCE).

4.4 Choix de la couche de roulement

Le béton bitumineux de la couche de roulement intervient dans le processus de comportement de la chaussée vis-à-vis du phénomène de fissuration sous deux formes. D'une part par la vitesse de propagation de la fissure dans la couche qu'il forme - en particulier pour la remontée d'une fissure de retrait de l'assise. D'autre part, lorsque la fissure a traversé cette couche, dans la stabilité et d'une manière plus générale dans le comportement des lèvres et du matériau autour de la fissure.

Propagation de la fissure

On connaît très mal l'effet de la composition de l'enrobé sur les paramètres de la loi de propagation de la fissure. Il est vraisemblable que les facteurs favorables sont les mêmes que pour l'amélioration du comportement à la fatigue. Des bétons bitumineux compacts, à forte teneur en liant sont donc favorables ainsi que des enrobés au bitume polymère ne présentant pas des modules élevés aux faibles températures qui sont les températures de service les plus critiques. L'ajout de polymère dans un bitume « mou » se révèle intéressant, en particulier pour les aires aéronautiques à trafic lourd, car il permet d'augmenter la teneur en liant, donc la résistance à la propagation de la fissure sans risque d'effets secondaires défavorables. Pour les mêmes raisons, la formulation des bétons bitumineux spécialement conçus pour chaussées aéronautiques (NF P 98-131) est un atout majeur pour un meilleur comportement de l'enrobé vis-à-vis de la propagation de la fissuration.

Comportement de la couche fissurée

Il est difficile d'aborder d'une manière théorique ce problème qui se pose essentiellement en période froide lorsque les enrobés sont fragiles et les fissures largement ouvertes. On peut, cependant, penser que ces sollicitations justifient des qualités pour l'enrobé, comparables à celles qui assurent sa résistance à la propagation de la fissure : bon comportement à la fatigue, bitume peu susceptible aux variations de températures ; reconstitution granulométrique assurant une compacité optimale ; enrobés faisant appel à des bitumes modifiés.

Le colmatage des fissures, lorsqu'il est réalisé avant leur évolution, permet « artificiellement » d'améliorer localement le comportement d'un enrobé fissuré. Il évite une évolution défavorable de la fissure ; il assure une imperméabilisation superficielle de la structure. A ce sujet, on peut se référer à la note technique LCPC / SETRA « Scellement des fissures » de décembre 1981 ainsi qu'aux notes d'information SETRA n° 15 et n° 56 qui définissent la technique et présentent les limites et l'intérêt du colmatage.

Le colmatage peut être présenté comme une technique limitant l'évolution d'une fissuration de retrait apparue en surface de chaussée qui permet d'une part de retarder une technique d'entretien par mise en œuvre d'une nouvelle couche de roulement et qui d'autre part intervient favorablement (comme une technique d'interposition) en retardant la transmission de la fissure du support dans la nouvelle couche de roulement.

5 Techniques anti-fissures en entretien

Les techniques d'entretien pour limiter les conséquences de la remontée des fissures

Les techniques qui sont développées dans ce chapitre sont des techniques d'entretien qui peuvent également être mises en œuvre, dès la construction des assises aéronautiques faisant appel à des assises traitées aux liants hydrauliques.

La transmission des fissures de l'assise dans les couches de surface est la conséquence des contraintes engendrées par les sollicitations, mais aussi et essentiellement la conséquence des contraintes thermiques (cycles saisonniers et journaliers). Pour éviter totalement ces dernières il suffirait de supprimer le collage des enrobés sur l'assise : ainsi la fissure de l'assise provoquée par le retrait de prise ne pourrait pas s'amorcer à la base de la couche de surface. Mais cela conduirait à un fonctionnement tellement défavorable qu'aucune couche de roulement ne résisterait longtemps dans de telles conditions.

Le concept qui est à l'origine des techniques d'interposition s'appuie sur le désir de désolidariser la couche de surface de l'assise vis-à-vis des contraintes thermiques (initialisation de la fissure de l'assise par des sollicitations horizontales et lentes) tout en assurant son collage sur le support de manière à lui permettre un fonctionnement mécanique normal sous les charges.

Autrement dit, les techniques d'interposition consistent à mettre en œuvre entre l'assise et les couches de surface une « membrane anti-fissure » ou une « couche de diffusion des contraintes » qui a un triple but :

- sur le plan de la transmission des contraintes, en tête de la fissure, provenant des cycles thermiques lents, elle dissocie les deux couches,
- elle permet à la structure de supporter les sollicitations des charges en assurant un bon collage de l'enrobé à son support.,
- elle doit conserver l'imperméabilité de la structure même si la fissure se développe dans la couche de surface.

Le matériau utilisé pour constituer une membrane antifissure doit donc être suffisamment déformable sous les sollicitations lentes des cycles thermiques de manière à permettre la « dissipation des contraintes » apparaissant en tête des fissures du support mais il doit conserver une rigidité suffisante pour les sollicitations rapides dues aux charges. Il ne doit pas présenter une forte compressibilité verticale pour ne pas augmenter exagérément les contraintes de flexion dans la couche de roulement ni être le siège de déformations permanentes ou fluage entraînant des déformations en surface. Il doit adhérer avec deux faces pour assurer le collage de la couche de roulement sur son support et doit aussi conserver son imperméabilité même au dessus ou en dessous d'une fissure ouverte.

On peut classer les techniques d'interposition en trois grandes familles dans lesquelles on retrouve pratiquement tous les produits ou procédés d'entreprise. Ce sont :

- l'enrobé fin bitumineux riche en liant et en fines,
- le géotextile imprégné,
- la membrane bitumineuse.

Ces procédés sont surtout utilisés pour l'entretien de chaussées semi rigides ou pour le rechargement de chaussées en béton, mais ils peuvent également être utilisés sous forme préventive pour des chaussées neuves dont la couche de base est en matériau traité avec un liant hydraulique.

Les géogrilles de première génération n'ont pas donné de résultats satisfaisants pour la fissuration de retrait des assises. Pour les autres fissures, sur chaussées souples en particulier, leur efficacité est significative.

5.1 Interposition d'un enrobé fin

Ce procédé consiste à réaliser la couche de roulement d'entretien (ou les couches de surface en chaussée neuve) sur une première couche de 1,5 à 2 cm d'épaisseur en enrobé 0/6 ou mieux 0/4 élaboré à partir d'un granulats entièrement concassé avec une formulation comptant de l'ordre de 10 % de bitume; 12 à 15 % d'éléments inférieurs à 80 microns (module de richesse visé entre 5,5 et 6) et 10 à 15 % de sable roulé.

Ce système souvent présenté sous l'appellation « enrobé bicouche » est parmi les plus efficaces mais sous certaines conditions. Il nécessite en particulier:

- l'emploi d'un bitume modifié pour l'enrobé fin. L'objectif est d'obtenir un liant ayant une faible susceptibilité thermique et pour le mélange un maximum d'allongement à la rupture. L'emploi de liant modifié est nécessaire pour donner à la « couche antifissure » la souplesse souhaitée sous toutes conditions climatiques et surtout d'éviter l'orniérage ou des déformations permanentes qui seraient inévitables sous fortes sollicitations avec du bitume pur;
- un support ayant un bon uni longitudinal et surtout un bon profil en travers pour respecter l'épaisseur (1,5 à 2 cm). Il est nécessaire de reprofiler le support si les déformations de profil sont supérieures à 1 cm;
- de ne pas réduire l'épaisseur de la couche de roulement. Une épaisseur de 6 cm de béton bitumineux est conseillée. Sous fortes sollicitations, on a également intérêt, sans réduire l'épaisseur, à utiliser un bitume modifié pour la couche de surface.

La conception d'un tel complexe conduit à rechercher un compromis entre l'efficacité vis-à-vis de la remontée des fissures qui tend à préconiser l'utilisation d'un bitume mou et la lutte contre les déformations permanentes sous charges lourdes qui impose l'emploi d'un liant dur ou modifié. Pour cette raison les études de formulation doivent être complètes et réalisées sur l'ensemble du complexe sable enrobé + couche de roulement pour ce qui concerne le comportement sous les charges (voies de circulation et aires de stationnement). Au niveau de la fabrication du sable enrobé la seule difficulté peut intervenir dans le séchage de matériaux trop humides qui peut poser un problème de baisse de cadence de fabrication.

La mise en œuvre de ce produit se fait au finisseur vis calées pour respecter l'épaisseur sur une couche d'accrochage classique et avec un compactage en général réalisé par un compacteur tandem à jantes lisses; seuls les joints sont vibrés.

Pratiquement toutes les entreprises routières nationales ont mis au point des formulations de sable enrobés sous les appellations spécifiques suivantes :

ENTREPRISE	NOM DU PROCÉDÉ	CARACTÉRISTIQUES
BEUGNET	Microchape	Bitume caoutchouc
COLAS	Saflex	Bitume + SBS (1)
EJL	Biplas	Bitume + EVA (2)
EUROVIA	Viasaf	Bitume + SBS + fibres
GERLAND	Plastoger	Bitume + EVA + PIB (3)
SACER	Fistop	Bitume + SBS
SCR	Souplex et asphapol	Bitume + SBS
SCREG	Bicompflex	Bitume + SBS + fibres

(1) SBS : polyStyrène Butadiène Styène

(2) EVA : copolymère d'Etylène Vinyle Acétate

(3) PIB : Poly IsoButadiène



Compactage du sable enrobé antifissure



Aspect de surface avant mise en œuvre de la couche de roulement

Le coût de cette couche anti-fissure en sable enrobé se situe entre 15 et 25 F/m² (valeurs 98). Cela correspond à un peu plus de 4 cm d'un enrobé classique.

Les chaussées aéronautiques sur lesquelles cette technique a été mise en œuvre et qui ont pu être visitées pour apprécier visuellement le comportement du procédé ont permis de constater que dans tous les cas aucune fissure des structures semi-rigides sous-jacentes n'est réapparue. Ces observations portent sur les aires d'Essey-Les-Nancy (réalisation 1981), Orléans-Bricy (1990) et Clermont-Ferrand (1992).

5.2 Interposition d'un géotextile



Mise en place du géotextile sur la couche d'accrochage

La technique consiste à interposer sous la ou les couche(s) bitumineuse(s) un géotextile imprégné de bitume.

L'ensemble est composé d'une couche d'accrochage réalisée avec un liant, en général un bitume modifié, mis en œuvre soit sous forme d'émulsion, soit sous forme anhydre répandu à chaud. Le dosage est de 0,8 à 1,2 kg/m² de bitume résiduel.

Le géotextile est généralement non-tissé aiguilleté ou thermosoudé en polyéthylène ou polypropylène. Il existe maintenant des géotextiles collés sur des grilles de verre.

Le rôle du géotextile est essentiellement de servir de réservoir pour le liant de manière à le maintenir en interposition entre le support et la couche de roulement. Sa masse surfacique est comprise entre 120 et 250 g/m². Il est conditionné par rouleaux de 100 à 150 mètres de longueur avec des largeurs comprises entre 1,9 m et 3,80 m.

La mise en œuvre de cette technique est très simple.

La première opération consiste à répandre le liant dont le dosage est adapté au géotextile qui sera utilisé. Il convient de mettre le maximum de bitume pour « saturer » le géotextile en majorant la quantité nécessaire de 300 g/m² pour assurer le collage de l'enrobé.

La deuxième opération consiste à dérouler le géotextile aussitôt le répandage du liant anhydre ou après avoir attendu la rupture de l'émulsion si le liant est mis en œuvre sous cette forme. L'application se fait généralement à l'aide d'un dérouleur monté sur un engin (tractopelle) avec un marouflage assuré par des balais montés sur le dérouleur de manière à assurer le collage du géotextile sur le liant.

Cette technique de mise en œuvre du géotextile permet une pose correcte et sans plis.

Parmi les géotextiles commercialisés pour cet emploi certains possèdent une face calandrée qui doit être tournée vers le haut. Le recouvrement longitudinal des lés est de 10 à 20 cm. Transversalement le recouvrement se fait dans le sens de mise en œuvre des enrobés.

Pour que la technique soit efficace il est nécessaire de garantir le collage du géotextile sur le support puis le collage de l'enrobé à mettre en œuvre sur le géotextile:

- le premier est garanti si le liant est répandu sur un support sec et à une température supérieure à 10°,
- l'accrochage de l'enrobé se réalise grâce à la température qui « aspire » le liant qui migre dans l'épaisseur du géotextile et colle au matériau. La condition d'accrochage est qu'il y ait assez de bitume pour « remplir » le géotextile et coller à l'enrobé.



Photographie L'ROP

Mise en œuvre de l'enrobé sur le géotextile

La mise en œuvre de l'enrobé sur le géotextile ne pose pas de problème particulier à condition d'éviter les manœuvres brutales des camions.

Un des avantages de cette technique est d'assurer une bonne imperméabilité du complexe géotextile imprégné + couche de roulement même lorsque la fissure réapparaît en surface.

La plupart des entreprises nationales ont donné un nom à leur technique d'interposition d'un géotextile.

Au niveau des coûts des géotextiles imprégnés ils se situent entre 10 et 15 F/m² (valeur 1998), soit environ l'équivalent de 2,5 cm de béton bitumineux classique.

ENTREPRISE	PROCÉDÉ
BEUGNET	Divers géotextiles
EUROVIA (C.B.C.)	Armacco E
GERLAND	Gertex
SACER	Aquafistop
SCR	Géotapi
EUROVIA (VIAFRANCE)	Divers géotextiles

Une « variante » nommée FILAFLEX a été mise au point par l'entreprise SCREG. Elle consiste, après avoir répandu le liant, à projeter des fils continus à l'aide d'une machine spécifique pour un dosage d'environ 100 g/m². La mise en œuvre de l'enrobé est réalisée traditionnellement après un léger gravillonnage sur les fils.

L'intérêt du procédé réside dans le fait qu'on évite ainsi les problèmes posés par les recouvrements transversaux et longitudinaux.

Une autre variante nommée COLFIBRE est présentée par l'entreprise COLAS. Elle consiste à projeter des fibres discontinues entre deux rampes d'épandage du liant (bitume modifié) et avant le gravillonnage.

5.3 Interposition d'une membrane

Les premières membranes réalisées correspondaient à la technique des enduits épais : mise en œuvre d'une couche de liant riche en élastomère dosée entre 2 et 2,5 kg/m² et gravillonnage à refus de 6/10 voire de 10/14.

Ce gravillonnage perçant la membrane sous l'effet du trafic, les résultats obtenus se sont avérés décevants.

Aujourd'hui la technique, qui a fait ses preuves aux États-Unis sur les chaussées fissurées sous l'appellation SAMI (Stress Absorbing Membrane Interlayer), consiste toujours à répandre au moins 2,5 kg/m² d'un liant modifié par une forte teneur en élastomères (généralement des SBS) ou d'un bitume caoutchouc.

Pour permettre le passage des engins de mise en œuvre de la couche de roulement, la membrane ainsi réalisée est protégée soit par léger gravillonnage (2/4), soit par un enrobé coulé à froid (cas du procédé Flexiplast).

Cette technique, mise en œuvre avec des matériels et des produits classiques a l'avantage d'être simple et donne toute satisfaction sur le plan théorique. Son efficacité est la conséquence de la qualité et de la quantité du liant, de la continuité de la membrane (d'où la nécessité de ne pas la percer avec le gravillonnage) et de la garantie qu'elle assure un bon collage des couches.

Le point critique qu'il a été nécessaire de vérifier pour les chaussées routières est le comportement à l'orniérage de ce complexe membrane + couche de roulement par un essai en laboratoire. Pour les chaussées aéronautiques, le risque d'orniérage étant plus faible la solution membrane + couche de roulement se présente comme une solution dont la conception est théoriquement idéale ; il manque des références sur le terrain pour la confirmer en pratique.

Peu d'entreprises proposent une technique de ce type dont le prix de revient est comparable à celui de l'interposition d'un sable enrobé, soit l'équivalent de 3 à 4 cm d'un béton bitumineux classique au bitume pur.

ENTREPRISE	PROCÉDÉ
COLAS	Bitumex (membrane de liant bituflex gravillonnée)
EJL	Flexiplast (membrane de bitume élastomère (EVA) protégée par un E.C.F.)
GERLAND	Routochape (membrane de bitume élastomère gravillonnée)



Photographie LRCP

Aspect d'une membrane en bitume caoutchouc aussitôt après son répandage



Photographie ELL

Mise en œuvre d'un enrobé coulé à froid pour protéger la membrane.

5.4 Retraitement

Plusieurs aires aéronautiques ont fait l'objet d'un retraitement en place à l'émulsion de bitume accompagné ensuite par la mise en œuvre d'une nouvelle couche de roulement. Des réalisations caractéristiques concernent l'aérodrome d'Aurillac (retraitement sur 10 cm + béton bitumineux en 7 cm) et celui de Bordeaux (retraitement sur 8 cm + géotextile imprégné + béton bitumineux en 5 cm).

Dans chaque cas, malgré un état initial très fissuré ou un support constitué par des dalles de béton recouvertes d'enrobés, le comportement des travaux est considéré, après 5 à 7 ans, comme très satisfaisant puisqu'aucune fissure ne réapparaît.

Sur chaussées routières des constatations aussi nettes n'ont pas été faites. On peut supposer que le type de sollicitations que supporte une surface aéronautique se prête bien à une solution de ce genre. En retraitant en place à l'émulsion une ou plusieurs couches anciennes de béton bitumineux, on construit une nouvelle structure. On intercale entre ce que l'on conserve de l'ancienne structure et la nouvelle couche de roulement une couche de « grave émulsion. Vis-à-vis du comportement face à la remontée de fissure, le fonctionnement de cette nouvelle structure est comparable à celui des structures inverses imaginées pour les techniques routières. La couche fabriquée en place peut être comparée à une couche d'interposition sous la nouvelle couche de roulement. Quoi qu'il en soit, la technique de traitement en place à l'émulsion apparaît comme une bonne solution de travaux d'entretien d'une aire aéronautique fissurée supportant un trafic lourd limité.

Toutefois une telle solution ne peut réussir sans une étude préalable qui traite des points suivants :

- l'analyse des causes des dégradations pour définir les qualités requises de la technique de travaux ;
- l'intérêt ou non du traitement en place pour éliminer ces causes ;
- l'aptitude des matériaux du site à se prêter au retraitement en place ;
- la définition de l'émulsion de bitume pour valoriser au mieux les produits à recycler et la formulation à retenir pour l'obtention des caractéristiques souhaitées ;
- la conception des travaux et en particulier la réception des matériels pour que le retraitement en place conduise aux performances définies dans l'étude de formulation.

Les performances des matériels de retraitement en place sont telles que l'on peut être assuré aujourd'hui de leur fiabilité tant en ce qui concerne la composition des mélanges que l'efficacité du malaxage.

Outre le fait qu'elle apporte une réponse positive à la lutte contre la remontée des fissures, cette technique bitumineuse à froid permet de valoriser par leur recyclage des matériaux généralement constitués avec des granulats de bonne qualité; améliore certainement, sans apport de matériau, la portance de la surface traitée; peut être réalisée sans imposer un arrêt total de l'exploitation de l'aire. Ces raisons conduisent à penser qu'il s'agit d'une solution d'avenir.

6 Aide au choix et à la décision

Ce chapitre est une synthèse des développements précédents. Il se présente sous la forme de trois tableaux établis pour aider le projeteur ou le maître d'œuvre à choisir la technique « anti-fissure » qui répond le mieux au problème posé.

Ces tableaux sont volontairement renseignés sans une quantification de la valeur des critères qui s'y trouvent mais sous la forme d'une appréciation relative ou comparative de ces critères. Il convient donc de lire ces tableaux uniquement pour y trouver aide et orientation dans les choix. La décision ne peut être arrêtée qu'au terme d'une étude détaillée du cas, intégrant le problème posé, les objectifs visés et les conditions économiques locales.

Tableau A : efficacité (vis-à-vis de la fissuration) et coût des différents moyens

Ce tableau rappelle les différentes techniques « anti-fissures » présentées dans le guide en ce qui concerne :

- d'une part les travaux neufs (définition des matériaux, conception de la structure, préfissuration, techniques permettant si les conditions économiques s'y prêtent l'emploi en assise de matériaux traités aux liants hydrauliques) ;
- d'autre part les travaux d'entretien des aires aéronautiques fissurées (les techniques figurant dans cette famille sont également applicables en travaux neufs).

L'objectif de ce tableau A est de hiérarchiser les différentes techniques en termes d'efficacité :

- soit pour limiter les conséquences dommageables de la fissuration de retrait
- soit pour retarder la remontée d'une fissure. Cette hiérarchisation est symbolisée par des signes + dont le nombre est d'autant plus grand que le système est efficace.

En regard de la colonne efficacité, une colonne coût est renseignée par des étoiles qui s'interprètent de la manière suivante : plus il y a d'étoiles plus le système est onéreux.

Vis-à-vis de la remontée des fissures, le système optimal est celui qui conjugue le plus de croix et le moins d'étoiles.

Tableau A : efficacité (vis-à-vis de la fissuration) et coût des différents moyens

NATURE ET TYPE DE TRAVAUX	EFFICACITÉ	COÛT
TRAVAUX NEUFS		
Définition du matériau traité avec un liant hydraulique par les choix du granulat, du liant et de la formulation	++	0
Conception de la structure	+	0
Pré-fissuration	++	*
ENTRETIEN ET TRAVAUX NEUFS		
Choix de la couche de roulement	+	0
Interposition d'un enrobé fin	++++	* * *
Interposition d'un géotextile	+++	* *
Interposition d'une membrane	++++	* * *
Retraitement en place	+++	* *

- + la technique ou la décision a une efficacité qui est limitée mais réelle
- ++ l'efficacité est moyenne; plus ou moins grande suivant le problème à résoudre
- +++
- ++++ caractérise les dispositifs considérés comme les plus efficaces
- 0 il s'agit de décisions qui ne coûtent rien ou pratiquement rien.
- * équivalent à environ 1 cm de béton bitumineux
- ** équivalent à 2 ou 3 cm de béton bitumineux
- *** équivalent à 3 ou 5 cm de béton bitumineux

Pour décider d'une technique anti-fissures une des premières questions à se poser est toujours de comparer son efficacité à celle d'une surépaisseur de béton bitumineux réalisée pour le même coût et de considérer l'apport de chacune des solutions vis-à-vis du comportement global de la structure.

Tableau B : qualité d'usage recherchée dans une technique en fonction du problème posé

Ce tableau prend en compte les caractéristiques principales d'une aire aéronautique et définit quelles doivent être les qualités de la technique de travaux pour répondre au mieux au problème posé.

Les trois premières colonnes du tableau définissent les principaux cas de figure rencontrés sur les aires aéronautiques : les problèmes posés ont été volontairement simplifiés et limités à trois niveaux pour chaque type de structure. Chaque cas est apprécié par des dégradations caractéristiques associées à un diagnostic ou à une nature de travaux telle qu'elle peut être définie par l'étude.

En face de chaque cas, a été apprécié, pour quatre critères essentiels (efficacité anti-fissure ; apport structurel; uni; imperméabilisation), le niveau de qualité qu'il était souhaitable d'attendre d'une technique de travaux adaptée. Ce niveau de qualité est quantifié par des étoiles (*) : plus il y a d'étoiles plus la solution recherchée doit être performante dans le critère considéré.

Exemple : Supposons le cas d'une aire aéronautique dont la structure est en béton recouvert d'un béton bitumineux ; les battements de dalles, s'ils existaient, ont été résolus définitivement avant la réalisation de cette première couche de béton bitumineux. Une fissuration régulière est évidemment la conséquence de la remontée des joints du béton à travers la couche de surface.

Dans un tel cas la technique de travaux n'a pas à apporter quelque chose au niveau structurel, ni au niveau de l'uni (une étoile dans chaque cas). Le problème essentiel est d'éviter la remontée de la fissure dans la nouvelle couche de surface (trois étoiles dans la colonne efficacité anti-fissure) et à l'occasion, compte tenu du fonctionnement des chaussées rigides, d'assurer l'imperméabilisation de surface (deux étoiles dans la colonne imperméabilisation).

Tableau B : qualité d'usage recherchée dans une technique en fonction du problème posé

TYPE DE STRUCTURE	DÉGRADATIONS CARACTÉRISTIQUES	DIAGNOSTIC OU TYPE DE TRAVAUX ENVISAGEABLE	QUALITÉ RECHERCHÉE DANS LA TECHNIQUE DE TRAVAUX				
			Efficacité anti-fissure	Apport structurel	Uni	Imperméabilisation	
STRUCTURES SOUPLES <i>(sans matériau traité avec un liant hydraulique en couche de base)</i>	Fissures plus ou moins dégradées, en général dans les zones sollicitées, sans déformation	Premiers signes d'une fatigue de la structure justifiant des travaux d'entretien	**	**	**	***	
	Fissures généralement dégradés avec déformations ou affaissements	Chaussée dont le besoin structurel existe mais peut être résolu par un simple rechargement en enrobés	**	**	**	***	
	Nombreuses fissures dégradées, départ de matériaux, déformations et affaissements	Insuffisance structurelle Renforcement indispensable	*	***	**	***	
STRUCTURE SEMI-RIGIDE <i>(avec une couche de base traitée avec un liant hydraulique)</i>	Fissuration transversale régulière sans déformation significative	Remontée de la fissuration de retrait. Structure ne donnant pas de signe de fatigue particulier et dont le renforcement serait la conséquence d'une augmentation des sollicitations.	**	*	*	*	
	Fissures transversales et longitudinales, généralement dégradés mais sans déformation de surface	Remontée de fissures de retrait et de fatigue Besoin d'apport structurel même sans dévolution des sollicitations.	*	**	*	**	
	Fissuration généralisée Affaissements. Remontées de boues blanches. Bourrelets	Structure ayant un fort besoin de renforcement	*	***	**	**	
Béton recouvert d'enrobés	Fissuration longitudinale et transversale régulière	Remontée des fissures ou des joints du béton à travers le béton bitumineux de surface	***	*	*	**	
CHAUSSÉE RIGIDE	Dalle de béton en bon état structurel. Peu de fissures mais battements de dalles	Souvent défaut d'imperméabilité ou érodabilité du support Transfert de charge à rétablir		<i>obtenu par goujon-nage des joints</i>		<i>à réaliser avec la réfection des joints</i>	
	Dalles de béton fissurées et/ou décalées	Besoin d'un renforcement relativement lourd	par goujonnage + rechargement	***	**	**	**
	Battements		par fractionnement des dalles + rechargement	**	***	**	***

Tableau C : apport de la technique anti-remontée de fissure à l'aire aéronautique

Ce tableau permet de passer des besoins attendus de la technique de travaux (tableau B) au choix de la technique.

Il rappelle les techniques anti-fissures et leurs conditions particulières de mise en œuvre et pour chacune d'elle donne une appréciation de son apport pour le comportement général de l'aire traitée.

Cet apport peut être nul (0) ou plus au moins fort, symbolisé par des signes + d'autant plus nombreux que la technique est plus efficace.

Exemple : Avec l'exemple accompagnant le tableau B, le tableau C nous oriente vers une technique d'interposition de sable enrobé ou de membrane voire de considérer le retraitement en place.

Cette dernière n'est pas là dans un domaine d'emploi optimal mais ne serait pas à exclure.

L'interposition d'une membrane est préférable compte tenu de son apport plus significatif vis-à-vis de l'imperméabilisation.

On peut prolonger la réflexion dans un tel cas en imaginant la solution qui consiste à effectuer dans un premier temps un colmatage de fissure et différer d'un an la mise en œuvre d'une nouvelle couche de roulement.

L'intérêt d'une telle solution est d'assurer l'imperméabilisation de la structure au niveau des fissures par le colmatage et d'utiliser ce colmatage comme apport anti-fissure (cf. chapitre 4.4) en le complétant par une surépaisseur de la couche de roulement (cf. chapitre 5 présentation du tableau A).

Tableau C : apport de la technique anti-remontée de fissure à l'aire aéronautique

IDENTIFICATION DE LA TECHNIQUE		CONDITIONS PARTICULIERES DE MISE EN ŒUVRE	EFFICACITÉ ANTI REMONTÉE DE FISSURE	APPORT STRUCTUREL	INCIDENCE SUR LA QUALITÉ DE L'UNI	INCIDENCE SUR L'IMPERMÉABILISATION
TECHNIQUES D'INTERPOSITION	ENROBÉ	Pas de défaut de planéité du support de manière à mettre en œuvre une couche de 2 cm d'épaisseur. Reprofilage préalable à envisager éventuellement	++ à +++	O	+	+
	GÉOTEXTILE	Mise en œuvre mécanique du géotextile. Maîtrise des largeurs de recouvrement à chaque bande	+ à ++ <i>suivant nature et pourcentage de liant interposé</i>	O	+	+
	MEMBRANE	Pas de problème particulier de mise en œuvre	+++	O	O	++ à +++
RETRAITEMENT EN PLACE À L'ÉMULSION		Étude préalable indispensable pour fixer la nature et le pourcentage du liant à apporter. Importance des performances des matériaux utilisés	++ à +++ <i>selon les cas (nature des couches retraitées et du liant utilisé)</i>	++	++ si bonne maîtrise de la technique	+

O Apport nul
+ Apport faible
++ Apport moyen
+++ Apport optimal

Remarque : l'adhérence est une qualité d'usage des aires aéronautiques. Elle n'est pas intégrée dans ce tableau car acquise uniquement par la qualité de l'enrobé de surface indépendamment de la technique anti-fissure envisagée.

Bibliographie

Notes d'information SETRA

n° 23	Retraitement en place des chaussées	Sept. 1986
n° 42	Retraitement des chaussées à l'émulsion de bitume	Avril 1998
n° 55	Règles de l'art pour limiter la fissuration de retrait des chaussées à assises traitées aux liants hydrauliques	Mars 1990
n° 56	Limites et intérêt du colmatage des fissures de retrait des chaussées semi-rigides	Mars 1990
n° 57	Techniques pour limiter la remontée des fissures à la surface des chaussées semi-rigides	Mars 1990
n° 93	Systèmes limitant la remontée des fissures transversales de retrait hydraulique	Avril 1997
n° 97	Les graves émulsions.	Avril 1997

Avis techniques

n° 70	CRAFT (CBC)	Juillet 1993 / Juillet 1998
n° 102	Joint Actif (SACER)	Juillet 1997 / Juillet 2002

Publications internationales et nationales

* Congrès EUROBITUME 93

Nouveaux complexes anti-remontée des fissures par Yves MEUNIER

* 1989 : 1ère conférence internationale RILEM sur la remontée des fissures (évaluation du phénomène et son contrôle)

1993 : 2ème conférence internationale RILEM sur la remontée des fissures (état de l'art et avancement de la recherche)

1996 : 3ème conférence internationale RILEM sur la remontée des fissures (conception et performance des systèmes)

* E.N.P.C. Journée technique : Lutte contre les fissures - Paris 1991 - M. SERFASS

Interposition de couches minces anti-remontées de fissures : les sables enrobés et les enduits épais.

Optimisation des formules d'enrobés vis-à-vis de la fissuration

* Bulletin de liaison des LPC - n° 156 et 157

Fissuration de retrait des chaussées à assises traitées aux liants hydrauliques par un groupe de travail LR / LCPC 1988

Références

- NF P 98-131 - Bétons bitumineux pour chaussées aéronautiques - Avril 1992

- Catalogue de dégradations - Document S.T.B.A. - Décembre 1984

Rédaction : STBA Département Génie civil et piste / Paul Merrien

Conception : cellule Communication-Documentation STBA / N. Marquet, G. Maquin

Photo de couverture : vue aérienne de l'aéroport de Nice-Côte-d'Azur (A. Paringaux)

Impression : atelier de reprographie du STBA

MINISTERE DE L'EQUIPEMENT
DES TRANSPORTS ET DU LOGEMENT
DIRECTION GENERALE DE L'AVIATION CIVILE



**SERVICE TECHNIQUE
DES BASES
AERIENNES**

31 AV. DU MARECHAL LECLERC 94381 BONNEUIL-SUR-MARNE CEDEX
TEL. 01 49 56 80 00 - FAX 01 49 56 82 19
ISBN 2-11-088736-2