

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université Mohamed khider Biskra
Faculté science et technologie
Département de génie civil et hydraulique
Référence.....



جامعة محمد خيضر بسكرة
كلية العلوم و التكنولوجيا
قسم الهندسة المدنية و الري
المراجع.....

Mémoire de fin d'études
En vue l'obtention du diplôme
Master en Génie Civil
Option : voies et ouvrages d'art

Thème

**RENFORCEMENT DES CHAUSSEES AERONAUTIQUES
PAR GEOSYNTHETIQUE ET TECHNIQUES ANTI-
REMONTEES DES FISSURES**

Présenté par :
MEBARKI ADEL.

Proposé Dirigé par :
BENMEBAREK SADOK

Professeur. univ-Biskra

Promotion 2012/2013

Remerciement

Je remercie en premier ALLAH pour tout.

*Je remercie nos très chers parents pour leurs soutiens et leurs
patiences.*

*Je remercie à l'égard de mon encadreur Mr : Benmebarek-
Sadok professeur à l'université de Biskra ; et tous les
enseignants de département génie civil pour la formation
qu'ils su nous donner.*

*Nos remerciements vont également à l'endroit de :
Mon oncle Djamel : Dr à l'université Mh khider Biskra.
Djarallah mesbah : étudiant dans la spécialité de sport.*

*Je remercie également le président et les membres de jury
d'avoir accepté d'examiner mon travail.*

Dédicace



Je dédie ce modeste travail à



*Ceux qui sont toujours présents dans mon
cœur*

*Mes très chers parents pour leurs soutiens,
leurs patiences et leurs sacrifices,*

*Mes frères et mes sœurs et ma grande
famille et proches.*

Tous mes ami(e)s notamment Ahmed hadji

*Mes collègues de promotion ; et à tous
personnes ayant contribué à ce travail de
prés ou de loin.*

Résumé

Les chaussées présentent souvent de nombreuses fissures dont les causes peuvent être très variées. Selon le type de chaussées et l'origine de la fissuration, ces fissures peuvent prendre des formes diverses. Lorsqu'elles apparaissent à la surface de la chaussée, les fissures ont sur le comportement de celle-ci des conséquences très dommageables pour minimiser la remontée des fissures dans les recouvrements en enrobé bitumineux. IL fait à une étude sur «La remontée des fissures dans les recouvrements à l'enrobé bitumineux».

En premier lieu, il s'agit de déterminer et de comprendre les différentes causes possibles de la fissuration des chaussées ainsi que les différents mécanismes de remontée des fissures à la surface. Dans un deuxième temps, il convient de maîtriser les concepts et les méthodes proposés pour contrôler la remontée des fissures dans la couche de recouvrement, les essais de laboratoire seront menés afin de proposer des solutions adaptées et optimisées aux types de remontée de fissures identifiés.

Identifier et comprendre les paramètres clés reliés à la remontée des fissures à la surface des chaussées; Vérifier l'influence de ces paramètres sur diverses solutions, anti-remontée de fissures, qui ont été simulés en laboratoire; enfin, il apparaît clairement de nos jours que les modélisations par éléments finis sont adoptées comme la référence pour connaître la relation "contrainte-déformation" dans les problèmes de remontées de fissure. Mais il faut rester vigilant, le problème est particulièrement complexe et la tendance est nécessairement à la simplification.

ملخص:

الطرق تظهر في كثير من الأحيان العديد من التشققات لعدة أسباب متغيرة ؛ حسب نوع الطريق و أصل التشقق هذه التشققات يمكن أن تأخذ عدة أشكال و ذلك عند ظهورها على سطح الطريق و لهذه التشققات عواقب ضارة جدا و للحد من إعادة صعود التشققات في الطبقة الإسفلتية و إنها دراسة حول صعود التشققات في هذه الطبقة.

في الخطوة الأولى هي تحديد وفهم مختلف الأسباب الممكنة لحدوث التشقق في الطريق و أيضا أليات مختلفة لصعود التشقق إلى السطح و في الخطوة الثانية، من الضروري إتقان المفاهيم والطرق المقترحة للسيطرة و مراقبة صعود التشققات في الطبقة الإسفلتية التجارب المخبرية لتوفير الحلول المثلى لأنواع إعادة صعود التشققات التي تم تحديدها .

تحديد و فهم العوامل الرئيسية المتعلقة بصعود التشققات إلى سطح الطريق تحقق من تأثير هذه العوامل على مختلف الحلول، ضد صعود التشققات و التي كانت بمحاكاة في المخبر، وأخيرا، فمن الواضح اليوم اعتمدت نماذج العناصر المنتهية كمييار لتحديد العلاقة "الإجهاد والتشوه" في مشاكل صعود التشقق. ولكن يجب علينا أن نظل يقظين، لان المشكلة معقدة بشكل خاص والاتجاه هو بالضرورة نحو التبسيط.

Table de matière

INTRODUCTION GENERAL	1
CHAPITRE 01:LES FISSURES DANS LA CHAUSSEE SOUPLE	3
INTRODUCTION.....	4
I.1 STRUCTURE DE CHAUSSEE SOUPLE.....	5
I.2 FISSURATION DANS LES CHAUSSEES	5
I.3 DIFFERENTES FORMES DE FISSURES DANS LES CHAUSSEES SOUPLES.....	6
I.3.1 ORIGINS DES FISSURES	6
I.3.2 FORMES ET CHEMINS DE FISSURATION.....	7
I.4 DIFFERENTES TYPES DE FISSURATION.....	8
I.4.1 FISSURES AFFECTANT TOUTES LES STRUCTURES	8
I.4.2 FISSURES SPECIFIQUES A LA STRUCTURE SOUPLE	9
FISSURE DE FATIGUE.....	9
FAÏENÇAGE DE FATIGUE	10
FISSURE DE JOINT	12
FISSURE DE RETRAIT	13
FAÏENÇAGE DE RETRAIT	14
FISSURES PARABOLIQUES/ENROBÉ TIRÉ	15
I.5 DIAGNOSTIQUE DES AERODROME.....	16
I.5.1 L'aérodrome de Djanet.....	16
I.5.2 Aérodrome d'ILLIZI.....	18
I.5.3 Aérodrome d'OUARGLA.....	22
I.6 REMONTEE DE FISSURE DANS LA COUCHE DE ROULEMENT.....	24
I.6.1 DESCRIPTION SCHEMATIQUE DE LA REMONTEE DE FISSURE AU	26
TRAVERS DE LA COUCHE DE ROULEMENT	
I.6.2 Propagation des fissures du haut vers le bas	27
I.6.3 Carottes prélevées au droit des fissures	28
I.7 CONCLUSION SUR LA NATURE, L'ORIGINE ET LE DIAGNOSTIC DES FISSURES.....	29
CHAPITRE 02 : SUMILATION DES FISSURES EN LABORATOIRE.....	30
INTRODUCTION.....	31
II.1 SOLLECITATION SUSCEPTIBLE D'ENGENDRER LA REMONTEE D'UNE FISSURE.....	31
II.1.1 Fatigue sous l'effet du trafic.....	32
II.1.2 Retrait thermique empêché	33
II.2 PARAMETRES INFLUENÇANT LA PROPAGATION DE FISSURE	34

II.3 CARACTERISATION DE PROCEDES ANTI-REMONTEE DE FISSURE.....	35
II.4 TESTS DE LABORATOIRE POUR LA SIMULATION DU COMPORTEMENT.....	38
DE LA COUCHE DE SURFACE SOUS CHARGEMENT REPETE (TRAFIC ET/OU THERMIQUE)	
II.4.1 Simulation du trafic	38
II.4.2 Simulation des effets de chargement thermique	39.
II.4.3 Simulation des effets combinés du trafic et des chargements thermiques	42
dans la couche de base	
Conclusion	44

CHPITRE 03 : TECHNIQUE ANTIREMONTEE DES FISSURE45

III.1 MESURES PREVENTIVES LORS DE LA CONSTRUCTION	46
III.1.1 La formulation des matériaux	46
III.1.2 Conception des structures	48
III.1.3 La couche de roulement	49
III.2 PROPAGATION DE LA FISSURE	50
III.3 COMPORTEMENT DE LA COUCHE FISSUREE	51
III.3.1 Le colmatage	51
III.3 .2 Techniques anti-fissures en entretien	52
III.4 CONCLUSION SUR LA PREVENTION CONTRE LA FISSURATION	69

CHAPITRE 04 : PRESENTATION D'UNE MODELISATION DE.....70

LA REMONTEE DE FISSURE

INTRODUCTION.....	72
IV.1 PARAMETRES D'ENTREE POUR UNE MODELISATION.....	72
IV.2 MODELES POUR LE DIMENSIONNEMENT	74
IV.3 REMARQUES SUR LA MODELISATION, SES LIMITES	74
IV.4 Exemple	75
Conclusion.....	81
CONCLUSION GENERAL.....	82

LISTE DES FIGURES

Figure I.1: Répartition des contraintes dans une structure de chaussée.....	(5)
Figure I.2 : Différents aspects de la fissuration.....	(8)
Figure I.3 : Différents chemins de fissuration (vue de haut de la chaussée).....	(8)
FIGURE I.4 : Aéroport ILLIZI: Fissures longitudinales non.....	(10)
colmatées sur la bretelle N°01	
FIGURE I.5 Aéroport ILLIZI : PISTE PRINCIPALE : Apparition.....	(11)
des fissures à maille large sur la raquette (seuil 09)	
FIGURE I.6 Aéroport ILLIZI : BRETELLE N°02 : Présence de fissures	(13)
de joints st celles transversales formant faïençage à maille large.	
FIGURE I.7 Aéroport ILLIZI : TAXIWAY Fissures longitudinale	(14)
et transversales formant un faïençage à maille large.	
FIGURE I.8 Aéroport DJANET : Accumulation de fissures.....	(15)
longitudinales et transversales faïençage à maille large sur la bretelle N°03.	
FIGURE I.9 Aéroport Ouargla la piste principale : FISSURES PARABOLIQUES.....	(16)
FIGURE I.10: Fissures de retrait thermique	(17)
FIGURE I.11 : Fissure longitudinale de joint.....	(17)
FIGURE I.12 : Colmatage défectueux	(17)
FIGURE I.13 : Fissure envahie par le sable éolien.....	(17)
FIGURE I.14 : Présence de fissures de joints et celles.....	(19)
transversales formant faïençage à maille large,	
FIGURE I.15: Accumulation de fissures longitudinales.....	(19)
et transversales faïençage à maille large sur la bretelle N°03	
FIGURE I.16 : Présence des fissures de joints et celles transversales.....	(20)
FIGURE I.17: Fissures longitudinale et transversales formant.....	(21)
un faïençage à maille large	
FIGURE I.18: Faïençage circulaire.....	(21)
FIGURE I.19 : Les photos ces dessus de la Bretelle 1 ;.....	(23)
Réapparitions des fissurations après le colmatage	
FIGURE I.20: Faïençage à mailles larges.....	(23)
FIGURE I.21: Faïençage généralisé.....	(23)

FIGURE I.22: La piste 18/36	(23)
FIGURE I.23: Réapparition des fissures + nouvelles fissure.....	(24)
Figure I.24 : Mouvements possibles des pointes de la fissure.....	(25)
Figure I.25 : Cheminements d'une fissure.....	(27)
Figure I.26 : L'origine des fissures de haut ou.....	(28)
en bas de la couche de roulement	
FIGURE I.27: Carotte prélevée au droit d'une fissure.....	(29)
Figure II.1 : Les trois différents modes de propagation.....	(31)
d'une fissure au sein d'un milieu continu	
Figure II.2: Schématisation des sollicitations induites.....	(31)
par le trafic (Di Benedetto, 1998) [46].	
figure II.3: Schématisation des sollicitations induites par la température [46].....	(34)
Figure II.4: Modes de sollicitation de l'interface sous conditions de trafic [RAA 04].....	(36)
Figure II.5 : (a) Schéma de propagation dans le cas d'un collage.....	(36)
parfait, sous trafic et effet des variations thermiques (b) Schéma de propagation de la fissure en cas de décollement entre les deux couches	
Figure II.6 : représentation schématique de l'essai de traction directe.....	(36)
Figure II.7: Principe de l'essai de cisaillement direct vu par Leutner.....	(37)
Figure II.8: Test de cisaillement direct développé à l'université de Cracovie.....	(37)
Figure II.9 : Représentation schématique du test de flexion sur poutre [RIG93].....	(39)
Figure II.10 : Représentation schématique d'un test de passage.....	(40)
de roue sur une plaque [BRO93]	
Figure II.11 : Représentation schématique du test.....	(41)
de fatigue thermique du CRRB [FRA93]	
Figure II.12 : Représentation du procédé expérimental de l'essai.....	(41)
de fatigue thermique de l'ENTPE [NEJ92] et son éprouvette	
Figure II.13 : essais sur barreau bitumineux.....	(41)
Figure II.14 : principe et fonctionnement et les sollicitations sur.....	(42)
le mode barreau homogène	
Figure II.15 : Représentation schématique du banc de fissuration.....	(42)
du laboratoire régional des Ponts et chaussées d'Autun [VEC89], [DUM93]	

Figure II .16 : montage et montage expérimental du l'essai.....	(43)
de suivi la remontée des fissures dans le système de resurfacage	
Figure II .17 : la remontée de fissure.....	(43)
Figure III.1 : Répartition de la charge d'une roue d'atterrisseur	(49)
dans les différentes couches de matériau constituant une chaussée souple	
Figure III .2: Aéroport ILLIZI : Colmatage de fissures de joints	(52)
Figure III.3 : Coupe présenté un fissure traité par sable enrobé;.....	(56)
vue en plan; la mise en place de sable enrobé	
Figure III.4 : technique de mise en œuvre du géotextile.....	(58)
Figure III.5 : L'application de géotextile PGM dans l'aéroport de Macapagal manila 2004.....	(59)
Figure III.6 : L'application de géotextile dans l'aéroport d'Ouargla.....	(61)
Figure III.7 : La grille AR1 empêche le développement de la déformation au centre.....	(62)
de la fissure, procurant à l'enrobé une résistance accrue à la fissuration thermique.	
Figure III.8 : essai pour un système retardateur de remontées de fissures.....	(63)
Figure III.9 : Les grilles permettent de limiter les concentrations	(64)
de déformations à la base de la couche d'enrobés.	
Figure III.10 : Fissure longitudinale de remontée après la mise en œuvre de la GB 0/20.....	(65)
Figure III.11 : Les étapes de mise en œuvre de la géogridde l'aéroport de Djanet.....	(68)
Figure III.12 : Difficultés rencontrées lors de la pose de la géogridde.....	(69)
Figure IV.1: Cas de chargement d'une chaussée.....	(73)
Figure IV.2 : Etats de contraintes induits par le passage d'une charge	(73)
roulante en pointe de fissure [JAY87]	
Figure IV.3: Élément joint à 6 nœuds (Modèle 2D).....	(76)
Figure IV.4 : Maillage essai E.T.S ET Maillage essai D. S.T.....	(77)
Figure IV.5: Essai ETS (Guissi, 2005).....	(78)
Figure IV.6. Influence de la discrétisation spatiale.....	(79)
Figure IV. 7 : Influence de la discrétisation temporelle.....	(79)
Figure IV. 8 : Géométrie de l'éprouvette.....	(80)
Figure IV.9 : Schéma de principe du dispositif expérimental.....	(80)
Figure IV. 10 : Evolution de la hauteur fissurée.....	(81)
Figure IV.11 : Evolution de la force verticale.....	(81)

INTRODUCTION GENERAL

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.

Les chaussées présentent souvent de nombreuses fissures dont les causes peuvent être très variées, sous l'effet des sollicitations mécaniques (trafic) et des sollicitations thermiques (écarts thermiques), on observe une remontée des fissures du substrat déjà fissurée à la surface de la nouvelle couche mise en place: ce phénomène s'appelle la remontée des fissures. L'Algérie compte dans son réseau aéroportuaire de chaussées souples, Ces chaussées souples présentent de nombreux défauts dont la fissuration transversale et la fissuration de fatigue. La principale cause de la fissuration transversale est le retrait thermique "empêché" imposé par les importantes chutes de température durant la période estivale. Par ailleurs, la fissuration de fatigue est attribuable au trafic des poids lourds dont les caractéristiques évoluent continuellement (pression pneumatique, chargements aux essieux, etc ...).

Des nombreux concepts ont été développés au cours des dernières années et ont fait l'objectif de nombreuses études et expérimentations dans la nature des matériaux, dans la conception des structures et aussi dans le développement des techniques anti-fissures qui essaient de répondre à nos questions.

Le chapitre 1 présente une étude bibliographique sur les chaussées fissurées. Les différents types de fissures et leurs causes probables sont présentés.

Se veut être une synthèse, des connaissances actuelles du phénomène de remontée de fissure au travers des couches de surface (au sens large, car il sera fait état aussi bien du processus de fissuration que des systèmes qui existent pour limiter, contrôler ou supprimer la fissuration ou encore de la fatigue).

Le chapitre 2 s'intéresse au deuxième mode de sollicitation des structures routières : le trafic. Si l'initiation de la fissuration est d'origine thermique, la propagation est fortement liée aux actions des charges roulantes.

Les phénomènes thermiques ont retenu notre attention.

L'analyse des actions des variations thermiques sur les structures de chaussée a été faite en s'intéressant à l'action de la température sur les propriétés mécaniques du béton bitumineux,

mais aussi au comportement d'une structure routière, et notamment à la propagation des fissures sous variations thermiques.

Les recherches toujours compris une simulation en laboratoire du processus de propagation de la fissure.

Le chapitre 3 Les enrobés utilisés en couche de roulement sont plus ou moins sensibles à la fissuration. Les fissures se propageront d'autant plus difficilement dans l'enrobé, qu'il sera capable d'accepter de grandes déformations avant rupture.

L'interposition d'un produit ou d'un complexe entre la couche fissurée et la couche de roulement consiste à faire un découplage et à introduire un produit ou un complexe qui les désolidarise.

Les techniques d'interposition plus connues sous le nom de système anti-remonté de fissures consistent à mettre en œuvre entre le substrat et la couche bitumineux, une couche anti-fissure ou une couche de diffusion des contraintes.

Le chapitre 4 La distribution des contraintes dans la chaussée est le résultat d'une combinaison complexe entre les facteurs environnementaux, les conditions de chargement, la géométrie de la structure et les propriétés des matériaux qui composent la route [FRA89].

L'objectif du ce chapitre présenté ici la faisabilité de l'intégration du modèle dans les simulations éléments finis d'essais de structures. Les essais sélectionnés sont l'essai ETS et l'essai DST.

CHAPITRE I

LES FISSURES DANS LES CHAUSSEES

INTRODUCTION

Les fissures sont considérées comme un des plus grands modes de dégradation de chaussées. En effet leur présence associée ou non à l'eau met en péril la durabilité à terme de la structure sous le passage répété de véhicules lourds. Le problème de fissuration peut être regardé du côté de l'endommagement des matériaux [Bodin et al. 2004] et de leur rupture comme le mettent en évidence par exemple les essais sur le comportement à la fatigue et à la rupture des matériaux bitumineux [Beghin, 2003], [Maillard et al., 2003]. Sur la structure de chaussée, pour un calcul de durée de vie, il est primordial de prévoir les évolutions de ces fissures. Par exemple il est nécessaire de savoir évaluer les remontées des fissures comme dans [Laveissiere, 2002], [Florence et al., 2004], de comprendre la fissuration par le haut [Tamagny et al., 2004] ou de calculer la durabilité d'un collage entre couche [Pouteau et al., 2004].

Les phénomènes de fatigue et de remontée de fissures au travers de la couche de roulement sont des dommages qui n'épargnent, malheureusement, aucun type de structures de chaussées. Les origines et processus d'amorçage de la fissuration diffèrent quelque peu selon la structure mais la fatigue est, en général et majoritairement, la cause de la propagation et donc de l'apparition de la fissure en surface. Les causes identifiées sont le trafic et les conditions environnementales (telles que les variations thermiques).

Ce chapitre va donc se consacrer à établir le bilan des connaissances sur la remontée de fissures dans la structure de la chaussée souple.

I.1. STRUCTURE DE CHAUSSEE SOUPLE

Une chaussée est une structure multicouche constituée de trois parties principales qui ont chacune un rôle bien défini [LCPC, 1994] (figure I.1).

Une des fonctions premières de la chaussée est de diminuer les contraintes induites par le trafic au niveau du sol support. Ce dernier, serait en effet incapable de supporter seul les contraintes induites par le passage répété de charges roulantes (figure I.1).

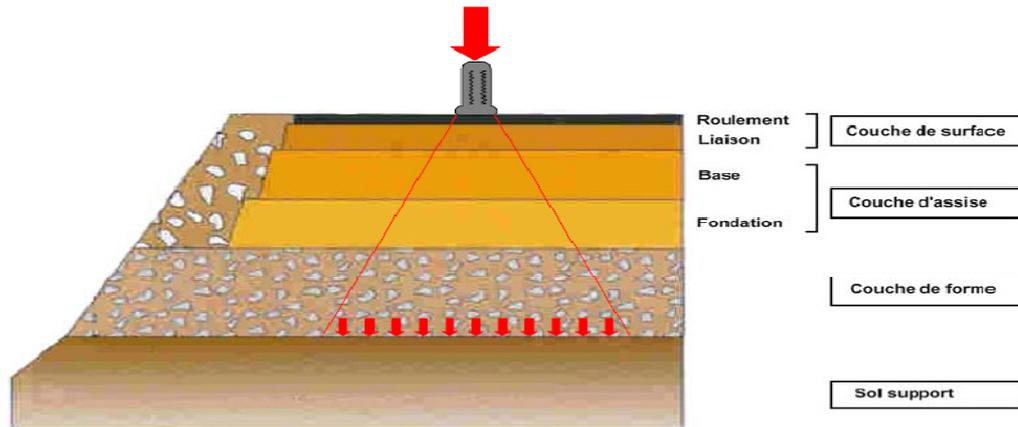


Figure I.1 : Répartition des contraintes dans une structure de chaussée

Les parties fondamentales d'une structure de chaussée sont :

- _ **Couche de surface** : Elle peut se subdiviser en deux couches : la couche de roulement et la couche de liaison. Constituée de béton bitumineux ou d'enduit, sa fonction est de protéger la structure de toute action environnementale extérieure et du trafic ; complexe, elle a aussi un rôle de prévention contre la remontée de fissure. De plus, sa place dans la structure en fait la garante de l'uni, l'adhérence... vis-à-vis des utilisateurs.
- _ **Assise de chaussée** : L'assise est composée des deux couches : base et fondation ; elle a pour fonction essentielle de répartir les charges induites par le trafic afin qu'elles soient compatibles avec la résistance du sol support.
- _ **Couche de forme** : elle permet de rectifier les hétérogénéités de la couche de sol support.

I.2. FISSURATION DANS LES CHAUSSEES : NATURE, ORIGINE ET DIAGNOSTIC

Les fissurations: Ce sont des fentes de degré plus ou moins important de la piste qui affectent la couche de roulement et/ou même tout le corps de chaussée. On distinguera les fissures longitudinales, les fissures transversales et les faïençages.

Les structures des pistes, en général, sont composées de matériaux dont la nature et les propriétés des matériaux constitutants varient fortement (graves non traitées, béton bitumineux, graves traitées aux

liants hydrauliques...). Toutes ces structures ont en commun des problèmes de fissuration d'origines diverses et dont les formes diffèrent d'autant. Le trafic ou les causes environnementales sont à l'origine des problèmes, mais la nature de ces derniers va varier en fonction de la structure. Le contrôle de la fissuration au travers de la couche de roulement est donc une tâche qui s'avère difficile du fait de la diversité des phénomènes. Il apparaît donc important de diagnostiquer la nature et la cause des fissures afin de lutter efficacement contre la remontée de fissure.

I.3 DIFFERENTES FORMES DE FISSURES DANS LES CHAUSSEES SOUPLES

I.3.1 ORIGINS DES FISSURES :

a 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.

b Retrait :

Le retrait empêché de la couche de base, d'une longueur infinie, peut donner naissance à des fissures dès l'instant où il se produit des contraintes supérieures à la résistance en traction. Le frottement entre la couche de base et le support peut accentuer ces contraintes. Ce phénomène se rencontre dans le cas de structures composées de matériaux traités aux liants hydrauliques. Dans le domaine de la fissuration de retrait, il a été convenu de distinguer deux types de retrait élémentaires [LCPC74] :

- Les retrait primaires qui comprennent les retrait avant le durcissement et le retrait hydraulique. Ils sont responsables de la première mise en contrainte lente du matériau après sa mise en œuvre.
- Les retrait thermiques associés aux variations de températures journalières mais aussi annuelles. Sous nos climats les premières peuvent atteindre entre 20 et 30 ° C et les secondes se situent entre 50 et 60 ° C.

En règle générale, les fissures de retrait apparaissent dans les chaussées composées d'au moins une couche traitée aux liants hydrauliques mais dans les climats les plus sévères la fissuration affecte également la couche de roulement.

c. Mouvements du sol :

Les mouvements ou une perte de portance locale du sol sur lequel la structure repose, peuvent aussi mener à une fissuration, qui va se propager dans les différentes couches de la structure. Les mouvements du sol impliquent ici différents phénomènes : perte de portance due à une augmentation de la teneur en eau du sol mal drainé, mauvais compactage de la plate-forme, glissement de terrain (spécialement près des routes où le profil n'est pas naturel), retrait dû à une importante perte d'eau suite à une saison sèche, gel qui atteint le sol support...

d. Défaut de construction :

Des fissures peuvent résulter d'erreurs dans la conception de la chaussée ou lors de sa mise en œuvre : variation de portance longitudinale, mauvaise réalisation des joints longitudinaux, sous dosage du liant... peuvent être la porte ouverte à des problèmes de fissuration. Certains défauts peuvent être plus néfastes sous le passage des charges roulantes, par exemple, le glissement entre les différentes couches.

e. Vieillessement et effets environnementaux :

Les fissures qui naissent en surface de chaussée sont souvent dues à une combinaison entre les contractions thermiques et une déformation de la chaussée au cours de l'été, alors que le béton bitumineux est devenu plus fragile sous l'action des UV. Ces effets sont accentués avec l'âge de la chaussée du fait de l'exposition de béton bitumineux aux effets environnementaux.

I.3.2 FORMES ET CHEMINS DE FISSURATION :

En fonction de leur origine, du type de la chaussée et du processus de fissuration, les fissures peuvent prendre des formes et des aspects variés [YOD75] et [CAT75].

a. Orientation :

Les fissures sont, plus généralement, longitudinales (parallèles à la direction de la roue) ou transversales (perpendiculaire au sens du trafic) ; elles sont rarement diagonales ou paraboliques.

b. Forme :

La forme des fissures est plutôt rectiligne mais les formes sinueuses s'observent parfois.

c. Aspect :

Les fissures peuvent apparaître comme une seule fissure franche dans la chaussée, ou alors se dédoubler voire se ramifier (figure I.2).

Fissure linéaire



Fissure dédoublée



Fissure ramifiée

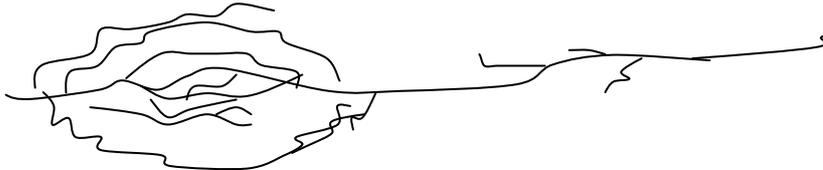


Figure I.2 : Différents aspects de la fissuration

d. Ouverture de la fissure :

Une fois encore, pas de règle bien définie, la largeur des fissures (c'est à dire la distance entre les 2 lèvres) peut varier de façon très diverse : la fissure peut être très fine (inférieure au mm), fine (de 1 à 2 mm) ou bien large (de plusieurs mm au cm).

e. Configuration :

Les fissures peuvent être isolées et non connectées ou au contraire fabriquer un maillage plus ou moins dense (figure I.3).

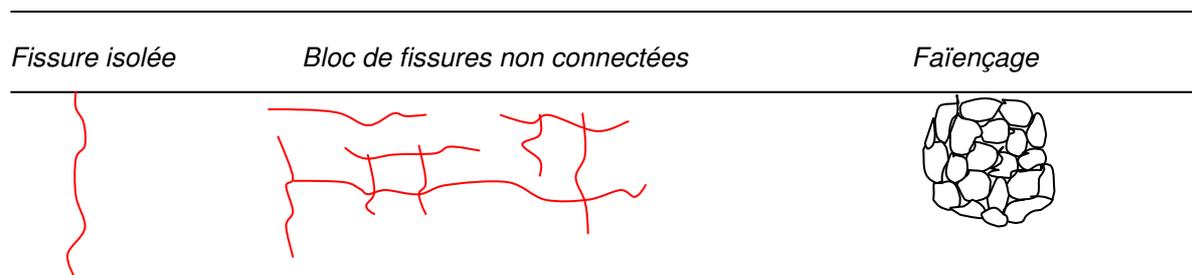


Figure I.3 : Différents chemins de fissuration (vue de haut de la chaussée)

I.4 DIFFERENTES TYPES DE FISSURATION

I.4.1 FISSURES AFFECTANT TOUTES LES STRUCTURES :

Une perte de portance du sol va conduire à des fissures simples longitudinales et transversales. Des glissements de terrain ont également pour conséquence de fissurer toutes les structures. Un retrait ou un séchage rapide va donner naissance à des fissures larges et espacées longitudinales et transversales.

Les fissures de fatigue, initiées dans la couche de surface, sont fines et limitées aux voies circulées dans un premier temps ; par la suite, ces fissures vont s'étendre à toutes les voies en faïençage. Les fissures de surface (de la couche de roulement) sont causées par les contractions thermiques lors de climats rigoureux. Il existe aussi des fissures longitudinales qui apparaissent lors d'élargissement de chaussées.

I.4.2 FISSURES SPECIFIQUES A LA STRUCTURE SOUPLE :

Les chaussées noires, ou souples, sont soumises à la fissuration par fatigue de la couche de base, avec une propagation de la fissure dans la couche de roulement sous l'action du trafic. Sous le passage de la charge roulante, ces fissures se développent en maillage large.

Il se peut que la chute de température crée des contraintes de traction supérieures à la limite de résistance du béton bitumineux, d'où l'apparition de fissures en surface. Ce phénomène est d'autant plus probable que le bitume utilisé est dur ou bien sensible au vieillissement.

Nous allons présenter quelques types de fissures principales. Selon le Catalogue pour la réalisation des relevés visuels de dégradations sur chaussées aéronautiques [LCPC, 2007], nous pouvons classer les fissures dans la chaussée en neuf classes comme suit.

FISSURE DE FATIGUE

Définition :

Fissure longitudinale apparaissant généralement dans les traces des atterrisseurs.

Elle est souvent accompagnée de fissures transversales à intervalle aléatoire et d'une dépression.

Causes possibles :

- fatigue avancée de la chaussée ou sous-dimensionnement d'une ou plusieurs couches ;
- diminution de portance du sol support (drainage déficient, défaut d'étanchéité de la surface)
- mauvais mode de fonctionnement de la structure (couches décollées...) ;
- qualité médiocre de certains matériaux.

Relevé qualitatif (niveaux de gravité)

Les niveaux de gravité sont fonction de :

- l'ouverture de la fissure ;
- la présence ou non de ramifications ;
- l'existence ou non de départ de matériaux.

Niveau léger: fissure simple d'ouverture inférieure à 5 mm ou fissure bien réparée

Niveau moyen: fissure simple d'ouverture supérieure à 5 mm ou fissure avec ramifications sans départ de matériaux

Niveau élevé: fissure avec départ de matériaux

Le dépistage de cette dégradation se trouve facilité après une averse.

Relevé quantitatif :

Le paramètre à mesurer est la longueur (en m) du cheminement apparent pour chaque niveau de gravité.

Une fissure ne présentant pas le même niveau de gravité sur toute sa longueur sera découpée en tronçons.

Par exemple, une fissure ayant 25 m de long peut avoir 5 m classés en niveau élevé, 10 m en niveau moyen et 10 m en niveau léger. Les trois tronçons ainsi définis seront enregistrés séparément.

Conséquences et évolution :

- infiltration d'eau dans le corps de chaussée ;
- départ de matériaux ;
- faïençage de fatigue.

Intervention possible :

- nettoyage des bords de la fissure ou découpage selon la gravité de la fissure ;
- pontage par mastic avec ou sans primaire d'accrochage.



FIGURE I.4 : Aéroport ILLIZI: Fissures longitudinales non colmatées sur la bretelle N°01

FAÏENÇAGE DE FATIGUE :

Définition :

Ensemble de fissures formant un maillage, les mailles ayant la forme de polygones dont la plus grande diagonale ne dépasse pas 60 cm. Généralement cette dégradation est située dans les traces des atterrisseurs et est accompagnée d'une dépression.

Causes possibles :

- fatigue excessive de la chaussée (répétition de charges avoisinant ou dépassant la limite admissible) ou sous-dimensionnement du corps de chaussée ;
- mauvaise qualité de certaines couches de la chaussée ;
- évolution d'un faïençage de retrait.

Relevé qualitatif (niveaux de gravité) :

Le niveau de gravité est évalué à partir de la fissure constitutive la plus grave, à savoir :

Niveau léger: fissure simple d'ouverture inférieure à 5 mm ou fissure bien réparée

Niveau moyen: fissure simple d'ouverture supérieure à 5 mm ou fissure avec ramifications sans départ de matériaux

Niveau élevé: fissure avec départ de matériaux

Le dépistage de cette dégradation se trouve facilité après une averse.

Relevé quantitatif :

Le paramètre à mesurer est la surface (en m²) du rectangle qui encadre la dégradation.

Conséquences et évolution :

- infiltration d'eau dans le corps de chaussée ;
- nid-de-poule.

Intervention possible :

Après avoir délimité la zone à traiter et selon le niveau de gravité et le type de trafic reçu :

- mise en œuvre d'un enduit superficiel avec balayage des rejets par aspiratrice ou pontage des fissures et mise en œuvre d'un enduit superficiel avec balayage des rejets par aspiratrice ;
- ou reprise de la couche de roulement après rabotage (purge éventuelle de la structure).



FIGURE I.5 Aéroport ILLIZI : PISTE PRINCIPALE : Apparition des fissures à maille large sur la raquette (seuil 09)

FISSURE DE JOINT :

Définition :

_Fissure située sur un joint.

Il faut entendre par « joint » le raccordement longitudinal entre deux bandes de répannage de la couche de roulement, ou transversal à la reprise de bande.

Par extension, cela peut désigner également la délimitation entre zones de structures différentes.

Causes possibles :

- défaut de mise en œuvre de la couche de roulement (bord de la première bande trop froid, compactage insuffisant du joint, mauvais collage entre bandes lors d'une reprise de répannage en particulier)
- discontinuité de structure (souple et rigide).

Relevé qualitatif (niveaux de gravité) :

Les niveaux de gravité sont fonction de :

- l'ouverture de la fissure ;
- la présence ou non de ramifications ;
- l'existence ou non de départ de matériaux.

Niveau léger: fissure simple d'ouverture inférieure à 5 mm ou fissure bien réparée

Niveau moyen: fissure simple d'ouverture supérieure à 5 mm ou fissure avec ramifications sans départ de matériaux

Niveau élevé: fissure avec départ de matériaux

Le dépistage de cette dégradation se trouve facilité après une averse.

Relevé quantitatif :

Le paramètre à mesurer est la longueur (en m) du cheminement apparent pour chaque niveau de gravité.

Une fissure ne présentant pas le même niveau de gravité sur toute sa longueur sera découpée en tronçons.

Par exemple, une fissure ayant 25 m de long peut avoir 5 m classés en niveau élevé, 10 m en niveau moyen et 10 m en niveau léger. Les trois tronçons ainsi définis seront enregistrés séparément.

Conséquences et évolution :

- infiltration d'eau dans le corps de chaussée ;

- départ de matériaux.

Intervention possible :

- nettoyage de la surface à traiter ;
- pontage des fissures par mastic.



FIGURE I.6 Aéroport ILLIZI : BRETELLE N°02 : Présence de fissures de joints et celles transversales formant faïençage à maille large.

FISSURE DE RETRAIT :

Définition

Fissure généralement transversale se rencontrant à intervalle régulier (variable de 3 à 20 m) sur une partie ou la totalité de la largeur de la chaussée. Elle peut s'accompagner de déformations (gonflements ou tassements).

Causes possibles :

- retrait thermique des couches sous-jacentes traitées aux liants hydrauliques ;

Relevé qualitatif (niveaux de gravité)

Les niveaux de gravité sont fonction de :

- l'ouverture de la fissure ;
- la présence ou non de ramifications ;
- l'existence ou non de départ de matériaux.

Niveau léger: fissure simple d'ouverture inférieure à 5 mm ou fissure bien réparée

Niveau moyen: fissure simple d'ouverture supérieure à 5 mm ou fissure avec ramifications sans départ de matériaux

Niveau élevé: fissure avec départ de matériaux

Le dépistage de cette dégradation se trouve facilité après une averse.

Relevé quantitatif :

Le paramètre à mesurer est la longueur (en m) du cheminement apparent pour chaque niveau de gravité.

Une fissure ne présentant pas le même niveau de gravité sur toute sa longueur sera découpée en tronçons.

Par exemple, une fissure ayant 25 m de long peut avoir 5 m classés en niveau élevé, 10 m en niveau moyen et 10 m en niveau léger. Les trois tronçons ainsi définis seront enregistrés séparément.

Conséquences et évolution :

- infiltration d'eau dans le corps de chaussée.

Intervention possible :

- nettoyage de la surface à traiter ;
- pontage des fissures par coulis à froid ou mastic.



FIGURE I.7 Aéroport ILLIZI : TAXIWAY Fissures longitudinale et transversales formant un faïençage à maille large.

FAÏENÇAGE DE RETRAIT :

Définition :

Ensemble de fissures formant un maillage, les mailles étant sensiblement rectangulaires, de largeur inférieure à 3 m et généralement supérieure à 60 cm. Cette dégradation peut se rencontrer indifféremment sur toute la largeur de la chaussée, même dans les zones non circulées.

Cause :

- effets thermiques dans la couche de roulement.

Contrairement au faïençage de fatigue, cette dégradation ne décèle pas un défaut de portance.

Relevé qualitatif (niveaux de gravité) :

Le niveau de gravité est évalué à partir de la fissure constitutive la plus grave, à savoir :

Niveau léger: fissure simple d'ouverture inférieure à 5 mm ou fissure bien réparée

Niveau moyen: fissure simple d'ouverture supérieure à 5 mm ou fissure avec ramifications sans départ de matériaux

Niveau élevé: fissure avec départ de matériaux

Le dépistage de cette dégradation se trouve facilité après une averse.

Relevé quantitatif :

Le paramètre à mesurer est la surface (en m²) du rectangle qui encadre la dégradation.

Conséquences et évolution :

- infiltration d'eau dans le corps de chaussée ;
- départ de matériaux.

Intervention possible :

- rabotage de la couche de roulement et mise en œuvre d'une couche d'enrobé à chaud (après couche d'accrochage).



FIGURE I.8 Aéroport DJANET : Accumulation de fissures longitudinales et transversales faïençage à maille large sur la bretelle N°03.

FISSURES PARABOLIQUES/ENROBÉ TIRÉ :

Définition :

Fissures groupées en forme de croissant concernant la couche de roulement. Ces fissures peuvent être accompagnées de bourrelets.

Causes possibles :

- efforts tangentiels trop importants dans la couche de roulement et affectant généralement les zones de virage ou de freinage ;

- épaisseur insuffisante de la couche de roulement ;
- défaut de mise en œuvre (accrochage défectueux de la couche de roulement, température insuffisante de l'enrobé au compactage).

Relevé qualitatif (niveau de gravité) :

Aucun niveau de gravité n'est à rechercher.

Relevé quantitatif :

Le paramètre à mesurer est la surface (en m²) du rectangle qui encadre la dégradation.

Conséquences et évolution :

- infiltration d'eau dans le corps de chaussée ;
- départ de matériaux.

Intervention possible :

- pontage des fissures ;
- découpage et nettoyage soigné de la chaussée ;
- enrobé à chaud et couche d'accrochage.



FIGURE I.9 Aéroport Ouargla la piste principale : FISSURES PARABOLIQUES

I.5 DIAGNOSTIQUE DES AERODROMES

I.5.1 l'aéroport de Djanet

Introduction :

L'aéroport de Djanet a été construit en 1984. Il se situe à 30 km au Sud de la ville de Djanet, tout près de la frontière Algéro-Lybienne. Depuis sa réalisation, l'aéroport n'a connu aucune opération de renforcement à l'exception des interventions d'entretien et de réparation. L'état des chaussées de l'aéroport est à un niveau de dégradation élevé pour la piste principale et à un niveau moyen pour la piste secondaire, caractérisé par un phénomène de fissuration généralisé, fissures localisées au niveau des joints de reprise des bandes

d'enrobage et fissures répétitives le long d'une maille sensiblement périodiques. Ces fissures ont pour origine le retrait thermique et l'enrobé se fissure en raison du gradient thermique très élevé.

Diagnostic de l'état de surface des infrastructures :

Les infrastructures existantes sont affectées par un phénomène de fissuration généralisée comme suit :

- des fissures transversales: concernent toute la surface de la chaussée, avec des ouvertures atteignant une largeur de 3 cm ;
- des fissures de joints longitudinaux concernant toutes les bandes de mise en œuvre des enrobés. Leur profondeur atteint toute l'épaisseur du revêtement et leurs ouvertures atteignent par endroits 5 cm ;
- des colmatages défectueux ;
- des dégradations diverses (déformation, tassement différentiel et faïençage).

Les figures 10 à 13 montrent les diverses fissures observées.



FIGURE I.10: Fissures de retrait thermique



FIGURE I.11 : Fissure longitudinale de joint



FIGURE I.12 : Colmatage défectueux



FIGURE I.13 : Fissure envahie par le sable éolien

Causes probables des dégradations :

Les fissures transversales sont des fissures de retrait, leur origine est thermique et l'enrobé se fissure en raison du gradient thermique très élevé (l'écart des températures diurnes et nocturnes est très élevé dans la région de Djanet). Les fissures de joint longitudinales sont localisées au niveau des joints de reprise des bandes d'enrobage. La formation de ce type de fissure est due à la mauvaise adhérence entre deux bandes d'enrobage réalisées à des âges différents (températures différentes) ainsi qu'à l'insuffisance de compactage au niveau du bord de la bande.

I.5.2 Aéroport d'ILLIZI

Introduction :

Une grande variété de défauts peut apparaître à la surface d'une chaussée. La nature de ces défauts diffère, en générale, les défauts mineurs sont habituellement intégrés dans les nouvelles chaussées pendant la construction, pas intentionnellement, car les techniques de construction ne sont pas parfaites, avec le temps, ces défauts augmentent. Au fur et à mesure que les chaussées vieillissent, des fissures commencent à apparaître à la surface, surtout des fissures liées au gradient thermique qui se produiront presque assurément sur les chaussées de béton bitumineux lors de leurs premières années de service.

Le diagnostic des chaussées existantes, consiste à distinguer les causes provocatrices des dégradations engendrées sur les différentes infrastructures de l'aéroport, ensuite de développer le phénomène existant en s'appuyant sur le recueil d'informations mené sur l'aéroport notamment ; le relevé visuel de dégradations, la géotechnique et le trafic. Cette analyse nous permis de comprendre mieux le comportement de l'infrastructure ainsi de prendre précautions pour éviter et/ou retarder ce qui peut arriver sous forme de désordre à l'aéroport une autre fois.

Fissure longitudinale:

Il s'agit de cassures de surface, parallèles à l'axe de la chaussée.

Les causes sont : la fatigue de la chaussée – due à une structure insuffisante vis-à-vis du trafic, ou d'une portance insuffisante du sol –, les défauts de construction – joints d'enrobé défectueux – ou les caractéristiques du sol ;

Evolutions : elle évolue vers un faïençage et un départ de matériaux. Aucun entretien courant n'est réalisé si la fissure est fine (moins de 2mm d'ouverture) ; dans le cas contraire, et en l'absence de désordre secondaire, il est procédé à un pontage à chaud avec mastic spécial ; en présence de désordre secondaire, il est procédé à une imperméabilisation de la surface.



FIGURE I.14 : Présence de fissures de joints et celles transversales formant faïençage à maille large, Écartement des fissures important, manque d'entretien (fissures non colmatées)

Fissure transversale :

Il s'agit de cassures de la couche de surface, perpendiculairement à l'axe de la chaussée.

Les causes sont : le retrait dû à la prise de l'assise traitée aux liants hydrauliques – sous l'effet des variations de la température, la fissure remonte au travers de la couche de surface, et l'ouverture varie selon la saison, s'accroissant davantage en hiver – et le défaut de construction d'un joint de reprise de tapis d'enrobés.

Evolutions : elle évolue vers l'épaufrure et les faïençages, flache et départ de matériaux. Il n'y a aucune technique d'entretien courant, mais seulement un pontage à chaud avec un mastic spécial dans le cadre d'une opération programmée.



FIGURE I.15: Accumulation de fissures longitudinales et transversales faïençage à maille large sur la bretelle N°03 ; -présence des fissures de fatigue. Essartement important des fissures, manque d'entretien (fissures non colmatées)

Fissure de joint :

Il s'agit d'une ouverture apparaissant sous forme de fissure rectiligne au raccordement de deux bandes d'enrobé (joint longitudinal) ou à une reprise d'une bande d'enrobés (joint transversal).

Les causes sont : le mauvais accrochage initial entre les deux bords du joint – faute de réchauffage ou de badigeonnage –ou, dans le cas contraire, le vieillissement du liant sous l'effet des variations de température.

Evolutions : elle évolue vers l'épaufrure des bords de joint, ce qui facilite la pénétration d'eau et peut entraîner – sous l'effet du trafic – un décollement partiel de l'enrobé. Elle peut également évoluer vers le faïençage, le nid de poule ou la pelade.

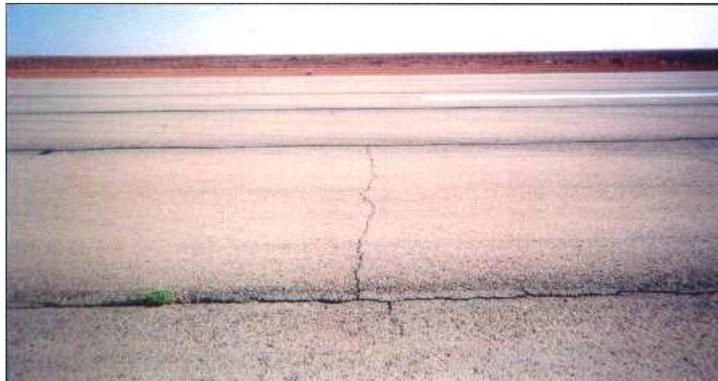


FIGURE I.16 : Présence des fissures de joints et celles transversales entre les deux bandes de marques d'aires de prise de contact, on remarque aussi à l'intérieur des cercles rouge, l'évolution des plante à l'intérieur des joints ce qui résulte :- le manque d'entretien ;-l'écart important des fissures ;- présence de dépôt de sable important à l'intérieurs des fissures.

Faïençage:

Il s'agit d'un ensemble de fissures plus ou moins rapprochées, formant un maillage.

Les causes sont : la fatigue de la couche de roulement ou de la totalité de la chaussée, due à une structure insuffisante vis-à-vis du trafic supporté, ou à une portance insuffisante du sol.

Evolutions : Il évolue sous la forme d'une ouverture progressive des fissures, puis vers un arrachement des matériaux et des déformations. En cas de faïençage fin (fissures de moins de 2 mm d'ouverture), il n'existe aucune technique d'entretien courant ; dans le cas contraire, il faut envisager un scellement et une imperméabilisation de surface.

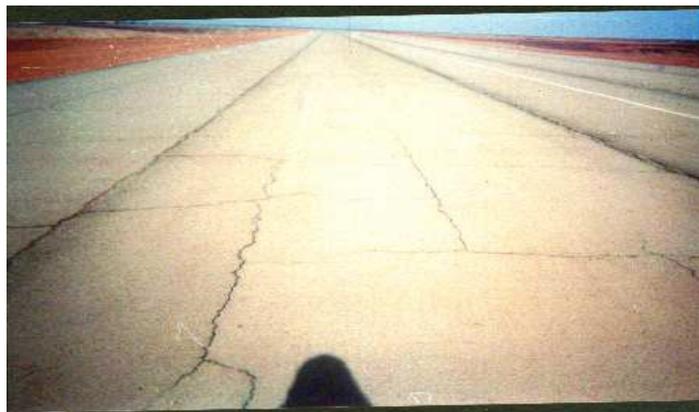


FIGURE I.17: Fissures longitudinale et transversales formant un faïençage à maille large ; Formation de faïençage à mailles large ; Ecartement des fissures est très important ; Manque d'entretien (fissures non colmatées) ; présence de dépôt de sable à l'intérieur des fissures

Faïençage circulaire :

Il s'agit d'un ensemble de fissures entrelacées ou maillées (mailles fines inférieures à 30 cm), formant une série de polygones apparaissant ponctuellement et affectant une zone de forme sensiblement circulaire, dont le diamètre est généralement inférieur à 1 m.

Les causes sont : un défaut ponctuel à la surface de l'assise traitée aux liants hydrauliques, qui peut provenir soit d'un excès d'eau (précipitations) ou d'un manque d'eau (dessiccation) dus à une protection insuffisante de l'assise lors de sa réalisation, soit d'un feuilletage en haut de l'assise consécutif à un compactage trop intense sur des matériaux trop tendres ou à des contraintes de cisaillement excessives engendrées par le trafic, soit enfin d'une ségrégation des matériaux lors de la mise en œuvre. Il s'accompagne de remontées de fines, de déformations et de nids de poule,

Evolutions : il évolue vers un faïençage systématique et des déformations dans les bandes de roulement.

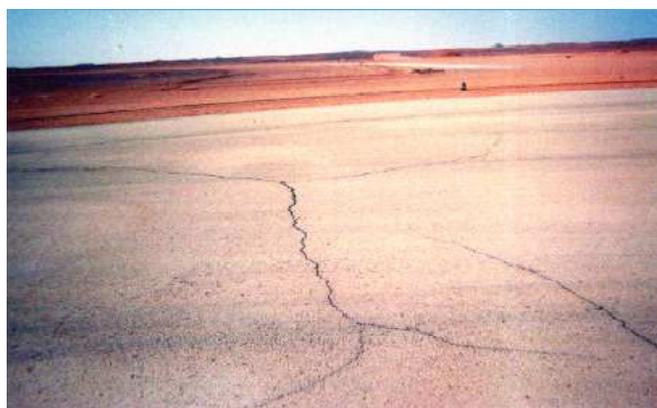


FIGURE I.18: Faïençage circulaire

Le gradient thermique :

L'écart énorme de la température qui est un facteur traditionnel du climat de la région d'ILLIZI, qui se manifeste non seulement entre l'été et l'hiver, mais également entre la journée et la nuit, provoque des effets de fluage et retrait pour les structures des chaussées de l'aérodrome, ces effets qui sont opposés entre eux se produisent dans une intervalle du temps très petite (fluage dans la journée et retrait dans la nuit), a cet effet les couches de la structure de chaussée sont exposées à un comportement qui est au-delà de leurs comportement naturel, dans ces conditions, exactement au moment du retrait, d'une part les bandes latérales d'enrobé rétrécissent d'une façon hétérogène par rapport à l'ensemble, ce qui entraîne l'apparition des fissures longitudinales qui suivent les traces des joints entre bandes et des fissures transversales, d'autre part, face a la fragilité d'enrobé, le phénomène de remonté de fissures et celui de faïençage prennent naissance, ensuite accentuent par l'intermédiaire du trafic.

I.5.3 Aérodrome d'OUARGLA

Introduction

Les chaussées périssent essentiellement par déformation sans fissuration des enrobés, ou par fissuration lorsque les enrobés sont suffisamment fissurés pour ne plus jouer leur rôle répartiteur, ou lorsque les deux phénomènes se combinent. Les fissures entraînent alors la pénétration de l'eau jusqu'aux couches inférieures non traitées qui se saturent, et par conséquent leur portance diminue.

Fissures de fatigue ou retrait :

Fissures longitudinales apparaissant généralement dans les traces des atterrisseurs. Elles sont souvent accompagnées de fissures transversales à l'intervalle aléatoire et d'une dépression.

Bretelle 1 : présente des fissurations longitudinales et transversales, concentrées sur les 03 joints de bandes centrales. Malgré leur colmatage, les fissures continuent à se développer photos ci-dessous. L'ouverture des fissures varie de 2 à 5mm.





FIGURE I.19 : Les photos ces dessus de la Bretelle 1 ; Réapparitions des fissurations après le colmatage

Faiénçage de fatigue ou retrait :

Cassure en mailles du revêtement, les mailles ayant la forme de polygones dont la plus grande diagonale ne dépasse pas 60cm.



FIGURE I.20: Faiénçage à mailles larges



FIGURE I.21 : Faiénçage généralisé

Fissuration des joints : fissures situées sur un joint.

La piste 18/36 : quelques zones affectées par quelques fissurations, et qui ont été colmatées lors des entretiens périodiques.



FIGURE I.22: La piste 18/36

Fissures paraboliques :

Fissures groupées en forme de croissant concernant la couche de roulement. Ils peuvent être accompagnés de bourrelets.



FIGURE I.23: Réapparition des fissures + nouvelles fissures

La température :

C'est un facteur très important pour la réalisation et le renforcement des aéroports, le matériau noir emmagasine la chaleur lorsqu'il est exposé au soleil. L'enrobé suit les variations de température avec faible décalage en profondeur (1 heure de retard à 10cm de profondeur), ce qui prouve sa bonne conductibilité thermique. Car, le bitume est très sensible à la variation de la température ; son module de déformation peut chuter de 60% pour une augmentation de température de 15 à 25°C et un chargement à chaque moment.

La variation de la température entre le jour et la nuit ou lors d'orages violents (choc thermique) engendre le microfaiçonnage qui peut entraîner une macro faiçonnage du revêtement.

1.6 REMONTEE DE FISSURE DANS LA COUCHE DE ROULEMENT

La remontée d'une fissure existante, au travers de la couche de roulement, est le résultat de mouvements des lèvres de la fissure qui sont transférés à la base de la couche de surface. Afin d'identifier correctement le problème de la remontée de fissure, il importe de bien identifier les différents paramètres qui peuvent causer ces mouvements et d'en analyser leur nature.

a. Charges provoquant les mouvements de la pointe de la fissure :

Trois types de charges provoquent des mouvements des lèvres de la fissure :

_ Trafic : Les véhicules, et plus particulièrement les essieux de l'avion, qui passent au droit de la fissure ou à proximité, induisent des mouvements horizontaux et verticaux de la fissure.

_ Variations de température : Les changements de températures, jour et nuit et entre les saisons été et hiver, causent des dilatations et contractions des sections comprises entre deux fissures

existantes. Ces mouvements horizontaux alternent entre l'ouverture et la fermeture des fissures.

_ Variation de teneur en eau du sol : La variation de teneur en eau se traduit par un changement de la portance du sol qui se répercute aussitôt sur la fissure par une ouverture ou une fermeture.

b. Nature des mouvements des lèvres de la fissure :

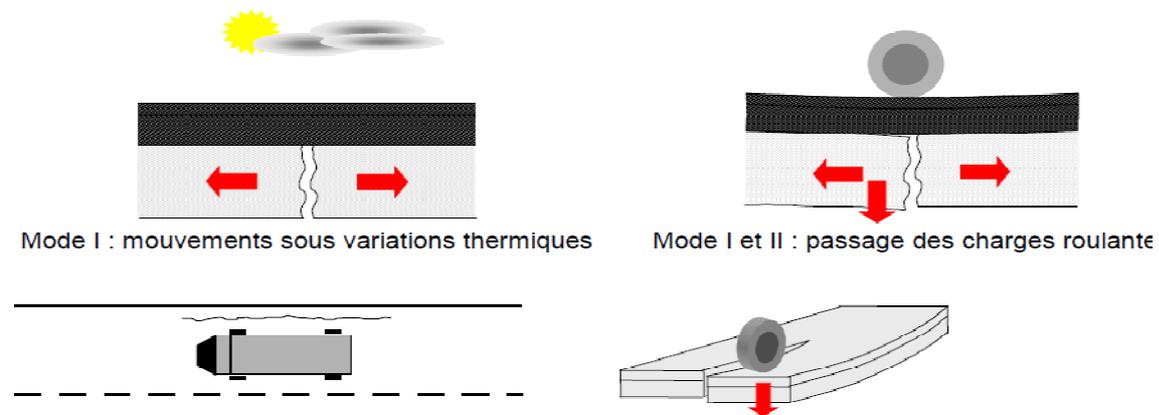
Les natures et formes des fissures existantes dépendent du type de structure de chaussée ainsi que des charges, ou contraintes, auxquelles sont soumises les lèvres de la fissure.

_ Combinaison de mouvements possibles :

Les trois mouvements possibles des lèvres sont clairement identifiés et classés selon un schéma conventionnel de Irwin [IRW57] :

- Mode I : ouverture des lèvres
- Mode II : cisaillement
- Mode III : déchirement

Sur la chaussée, ces trois types de mouvements vont causer la rupture de la couche de surface selon une combinaison des mouvements présentés en (figure I.4).



Mode III : véhicule le long d'une fissure transversale

Figure I.24 : Mouvements possibles des pointes de la fissure

Le retrait thermique, ou hydraulique du béton, s'apparente systématiquement au mouvement de type mode I, c'est à dire d'ouverture. Le trafic est une combinaison des 3 mouvements, dépendant de la position du véhicule sur la chaussée et de la géométrie de la fissure existante.

_ Fréquence de sollicitation

Les différents mouvements de la pointe de fissure, sont fonctions de la charge qui s'applique pour la partie cinématique, mais ces mouvements se distinguent aussi par la vitesse du chargement.

- des mouvements rapides induits par le trafic et plus particulièrement les charges lourdes.
- des mouvements lents dus aux retraits thermiques par variations de température (entre le jour et la nuit),
- des mouvements très lents résultant des retraits dus aux variations thermiques entre l'été et l'hiver ou des variations hydriques (dans le sol support)

_ Amplitude des mouvements

L'amplitude des mouvements dus aux charges roulantes est directement fonction de la charge roulante. Elle est aussi directement reliée à la déformation possible de la structure. Concernant les mouvements de retraits thermiques, l'amplitude des mouvements des lèvres de la fissure est fonction de l'amplitude de variation de température mais aussi du coefficient de dilatation thermique.

L'ouverture sous chargement thermique est plus grande si les joints sont espacés ; mais elle est aussi fonction de la qualité du collage entre les couches.

_ En conclusion

Le trafic induit des contraintes dans les chaussées fissurées qui se traduisent par des mouvements des lèvres des fissures en mode I (ouverture), II (cisaillement) et III (déchirement), en fonction de la position du véhicule par rapport à la fissure. Le mouvement est rapide (donc une fréquence élevée) avec des amplitudes variables.

Le retrait thermique (ou hydraulique) crée des mouvements d'ouverture des lèvres de la fissure (mode I). Les mouvements sont lents, voire très lents, avec de fortes amplitudes.

1.6.1 DESCRIPTION SCHEMATIQUE DE LA REMONTEE DE FISSURE AU TRAVERS DE LA COUCHE DE ROULEMENT

_ Processus de remontée de fissure :

Le développement des fissures, dans la couche de surface sous l'action des différentes sollicitations, se fait en trois étapes induites par différents mécanismes :

- L'initiation de la fissure est causée par un défaut existant dans la couche non fissurée initialement,
- suivie par une phase de propagation lente de la fissure au travers de la couche de surface (ce processus commence au point où il existe une concentration de contraintes thermiques ou mécaniques),

- enfin, la dernière phase, c'est à dire la rupture totale, correspond à l'apparition de la fissure en surface de chaussée.

Les trois mouvements décrits ci-dessus prendront une importance relative en fonction de la nature de la fissure et du type de chargement qui agit sur la structure.

_ Chemin de fissuration :

Les fissures peuvent se propager verticalement, sans affecter le collage entre les différentes couches, sous l'action du trafic ou des retraits thermiques et hydriques. Mais il est aussi fréquent d'observer une phase de propagation de la fissure dans l'interface, c'est à dire horizontalement, avant de repartir verticalement [GOA82].

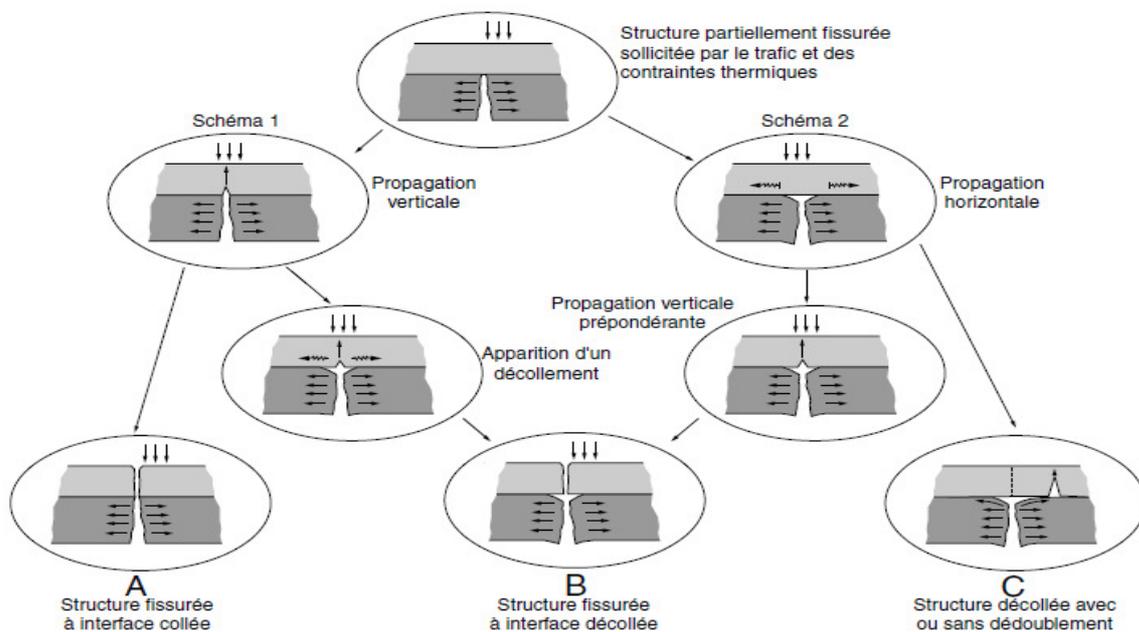


Figure I.25 : Cheminements d'une fissure

I.6.2 Propagation des fissures du haut vers le bas :

Ce type de fissure commence sur la surface de chaussée et se propage vers les couches de chaussées en bas. Les fissures de haut en bas peuvent se produire sous diverses causes. Le trafic, la complexité de l'interaction pneu/surface de chaussée, chargement cyclique de la température, le dépassement de l'âge du bitume, le comportement viscoélastique des enrobés bitumineux sont autant de raisons probables de leur apparition [Tamagny et al., 2004]. Ce type de propagation de fissure a été le but de plusieurs travaux de recherche, nous pouvons citer ici ceux de [Nesnas et Nunn, 2004], [Sangpetngam et al., 2004], [Svasdisant et Baladi , 2004], [Rowe et Pellinen, 2004] ...

I.6.3 Carottes prélevées au droit des fissures :

Les carottes peuvent également être prélevées au droit des fissures du revêtement. Elles permettent de fixer la profondeur atteinte par les fissures et de vérifier si elles se prolongent dans la fondation. Ces informations sont des éléments essentiels du diagnostic.

Le prélèvement d'une carotte centrée sur l'extrémité d'une fissure permet généralement d'avoir une idée sur le mode de propagation de la fissure. A titre d'exemple, dans le cas où toutes les couches du revêtement sont adhérentes, si la fissure affecte la totalité de la face inférieure de la carotte, on admet généralement que la fissure trouve son origine à la partie inférieure du revêtement; par contre, lorsque la fissure est inexistante au bas de la carotte, on admet que la fissure trouve son origine dans la couche de roulement. Ces constatations contribuent à déterminer l'origine des dégradations et sont donc utiles à la fixation du diagnostic.

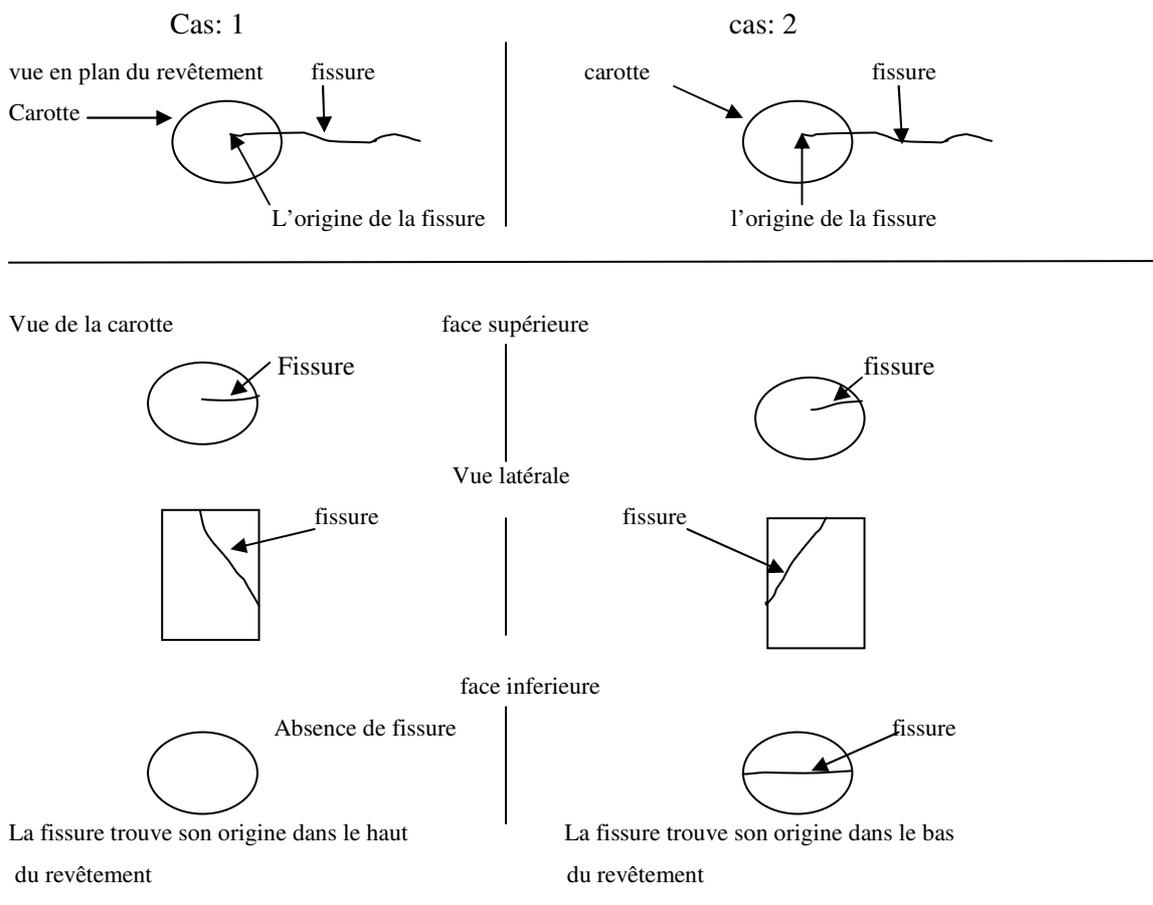


Figure I.26 : L'origine des fissures de haut ou en bas de la couche de roulement



FIGURE I.27: Carotte prélevée au droit d'une fissure

I.7 CONCLUSION SUR LA NATURE, L'ORIGINE ET LE DIAGNOSTIC DES FISSURES

Les natures des fissurations observées en surface de chaussées sont diverses, ceci est en partie dû à la grande variété des origines de fissuration

Notre étude se limitera particulièrement aux structures souples, mais aussi à la nature de fissuration la plus défavorable, et la plus 'classique' dans ce type de structure : les remontées de fissures longitudinales de la couche de base vers la surface au travers de la couche de roulement (c'est à dire couche de liaison et couche de roulement, figure I.5).

La fissuration est la cause la plus courante de dégradation des chaussées. S'agissant des structures souples, les problèmes viennent des remontées de fissuration. Les causes qui interviennent sur le phénomène de fissuration sont connues, en revanche l'identification des actions et la différenciation des paramètres restent à parfaire.

CHAPITRE II

SUMILATION DES FISSURES EN
LABORATOIRE

INTRODUCTION

De nombreux essais de laboratoire ont été développés afin de simuler la remontée de fissures. Ces simulations en laboratoire sont très importantes, car elles permettent de quantifier rapidement l'efficacité d'un système anti-remontée de fissures par rapport à un autre et pourraient aider dans le développement d'un meilleur système.

Le développement des fissures dans les chaussées est un problème qui suscite de nombreuses interrogations. Il est souvent difficile de connaître l'origine exacte de la fissure, de savoir si elle est due à des retraits de séchage ou bien à des retraits thermiques. Il est encore plus délicat d'expliquer et aussi de prédire, leur propagation et leur espacement.

Les problèmes de la fissuration des assises de chaussées et celui de la remontée des fissures à travers les couches de surface sont complexes. Des nombreux concepts ont été développés au cours des dernières années et ont fait l'objectif de nombreuses études et expérimentations dans la nature des matériaux, dans la conception des structures et aussi dans le développement des techniques anti-fissures qui essaient de répondre à nos questions.

Les recherches sur une simulation en laboratoire du processus de propagation de la fissure.

II.1 SOLLICITATION SUSCEPTIBLE D'ENGENDRER LA REMONTEE D'UNE FISSURE

Les concentrations de contraintes qui sont observées en pointe de fissure, sont le résultat des actions telles que le trafic, la température et l'humidité. Ceci se traduit par des actions mécaniques de flexion et de cisaillement sous l'action des charges roulantes ; la température et l'humidité sont à l'origine également d'effets de flexion et de traction du fait des gradients qui existent dans toute la structure. Il est primordial de connaître la nature et la cause des fissurations ainsi que le type et l'amplitude des mouvements des fissures dans la structure afin de mieux connaître la distribution des contraintes en pointe des fissures.

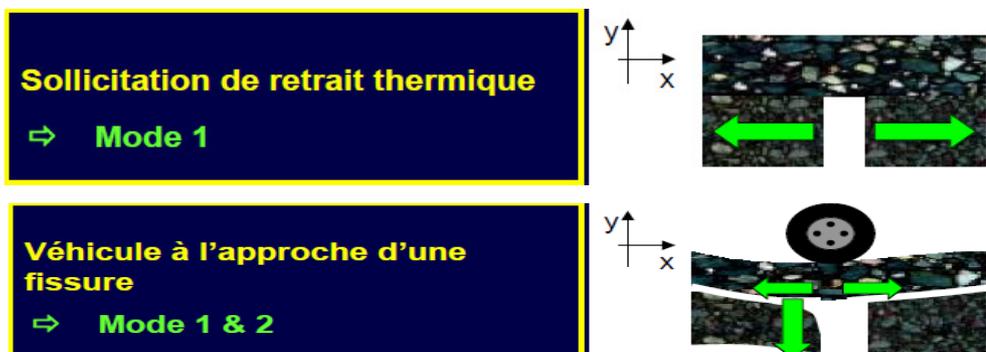




Figure II.1 : Les trois différents modes de propagation d'une fissure au sein d'un milieu continu

II.1.1 Fatigue sous l'effet du trafic :

D'une manière générale, le trafic crée des mouvements verticaux et horizontaux aux bords de la fissure. En effet, lorsqu'un véhicule s'approche d'une fissure transversale, il se crée à la fois un enfoncement d'un bord par rapport à un autre (mode 1), et un éloignement des deux lèvres de la fissure (mode 1). Quand le véhicule est à l'aplomb de la fissure, il y a uniquement ouverture des lèvres, c'est-à-dire éloignement des deux lèvres (mode 1) (Colombier, 1989).

Les mouvements des lèvres d'une fissure transversale, dus au trafic sont rapides, fréquents (de quelques centaines à quelques milliers de cycles par jour) et d'amplitude variable (fonction de la charge de l'essieu, de la déformabilité de la structure et de l'engrènement de la fissure) (Colombier, 1989).

Chaque couche de chaussée est assimilée à une poutre en flexion sous l'effet du trafic (Figure II.2). Le calcul des efforts et déformations qui apparaissent nécessite la connaissance du module de Young et aussi du coefficient de Poisson (Dumont et Di Benedetto, 1998).

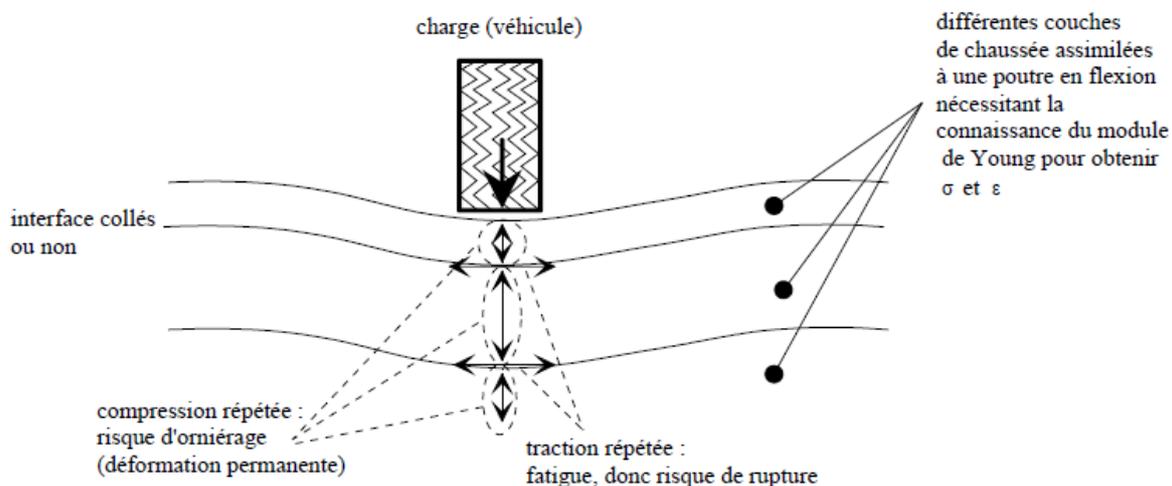


Figure II.2: Schématisation des sollicitations induites par le trafic (Di Benedetto, 1998) [46].

Les tractions répétées à la base des couches sous l'effet du passage des véhicules créent des "micro" dégradations qui s'accumulent et peuvent entraîner la ruine du matériau. Ce phénomène est la fatigue qui s'observe pour de nombreux matériaux. Une fissure peut également apparaître et se propager dans la chaussée.

La fatigue, due à un trafic cumulé trop importante supporté par la chaussée (pour son dimensionnement ou ses caractéristiques) se traduit ultimement par l'apparition de fissures en surface. Cette fatigue excessive peut concerner l'ensemble de la structure (couche de base et de fondation et couche de roulement) ou la seule couche de roulement.

Les fissures de fatigue apparaissent généralement dans le sens longitudinal, au niveau des voies de circulation dans les traces de roues.

Les fissures de fatigue sont la conséquence d'une insuffisance structurelle de la chaussée. Elles précèdent la période de destruction totale de la chaussée. Elles sont provoquées, pour des structures à assises traitées, par des contraintes de traction par flexion excessive dans les assises. Pour les chaussées souples, elles sont la conséquence d'un excès de déflexion structurelle qui engendre des contraintes de traction excessives à la base de la couche de roulement (STBA, 1999).

II.1.2 Retrait thermique empêché :

Outre le vieillissement du matériau, la température a deux effets mécaniques principaux (Di Benedetto et coll., 2005) :

- 1) Changement de la rigidité (module) du matériau. Un béton bitumineux que l'on chauffe devient plus mou,
- 2) Création de contraintes au sein du matériau en raison des dilatations-contractions thermiques lors des changements de température (Figure II.2).

Les variations de température Jour-Nuit ou Été-Hiver créent des allongements et des retraites des parties de chaussées comprises entre 2 fissures. Le plus souvent ces phénomènes se traduiront par l'ouverture ou par la fermeture de la fissure. Dans certains cas, l'existence d'un gradient thermique important dans la couche fissurée pourra conduire à une cambrure de cette dernière. Les variations inverses (nuit- jour, hiver été) créent des allongements de l'assise entre deux fissures entraînant la fermeture des lèvres (Colombier, 1991).

Les mouvements des lèvres liés à la température, sont lents (jour- nuit), ou très lents (été- hiver), peu fréquents (de deux fois par jour à quelques fois par an) et d'amplitude variable (fonction de la variation de température, de la nature des granulats, de l'espacement entre fissures et de la qualité de l'interface) (Colombier, 1988; Parcells et coll., 1982).

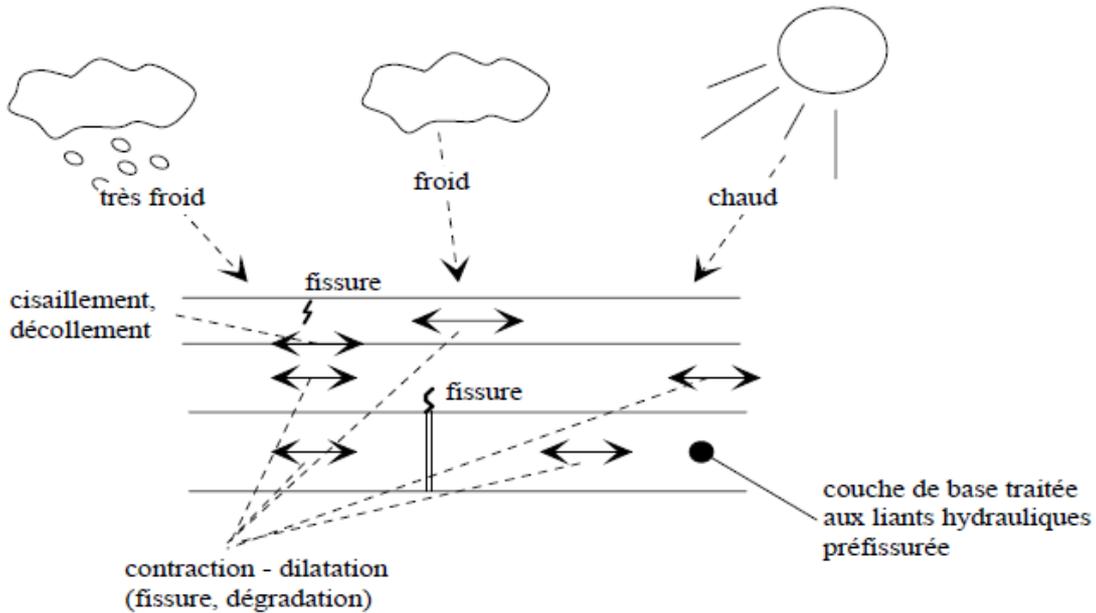


Figure II.3 : Schématisation des sollicitations induites par la température [46].

II.2 PARAMETRES INFLUENÇANT SUR LA PROPAGATION DE FISSURE

Les principaux paramètres de la fissuration apparaissant en surface de chaussée.

_ Nature des granulats :

Ce paramètre intervient par l'intermédiaire du coefficient de dilatation thermique. Celui des granulats siliceux est le double du coefficient de dilatation thermique des granulats calcaires.

_ Nature et dosage en liant :

La teneur en liant des matériaux bitumineux a peu d'influence sur le niveau de déformation à la rupture dans la gamme des dosages utilisés. Par contre, la vitesse de prise et l'augmentation des résistances jouent un rôle direct sur l'espacement entre les fissures.

_ Période de mise en œuvre :

Ce paramètre est à relier, en particulier, à la température moyenne au moment de la réalisation du chantier. Une réalisation de chantier en juillet conduit à une fissuration importante à la sortie de l'hiver, ce phénomène n'est pas observé (ou la fissuration est moindre) pour une structure mise en œuvre en novembre. Ceci est directement corrélé avec la contraction thermique de la structure par rapport à sa température initiale.

_ Conditions climatiques annuelles :

Un hiver rigoureux peut mener à l'apparition brutale de fissures en surface de chaussée.

_ Trafic :

Le trafic est reconnu pour avoir un effet amplificateur, mais non déterminant dans la fissuration des chaussées souple. Le dimensionnement de la chaussée ne tient compte que du trafic ; cependant, des cas sans différence entre la voie lente et rapide sont à mentionner...

_ Epaisseur et nature de la couche bitumineuse :

Les matériaux choisis pour la couche de roulement vont avoir une influence sur la fissuration du fait de leur nature (par l'intermédiaire de la susceptibilité thermique du liant utilisé, par exemple). Cette couche joue deux rôles dans le processus de propagation de fissure : elle sert d'écran thermique vis à vis des variations thermiques et une épaisseur plus grande rallonge d'autant le trajet de la fissure avant d'apparaître en surface.

_ Délai de la mise en œuvre de la couche de roulement et de la couche de base.

Même si l'influence du délai de mise en œuvre de la couche de roulement par rapport à la couche de base est encore difficilement quantifiée, il est intéressant de noter qu'il semblerait préférable d'allonger entre les deux mises en place afin de laisser se faire la prise "libre" des matériaux de la couche de base.

_ Géométrie de la chaussée

Abd El Halimi [ABD96] montre à partir d'observations sur sites (Canada et Egypte) l'existence d'une corrélation entre la géométrie de la structure et le schéma de fissuration observé en surface de chaussée. Il semble que l'influence soit surtout à mettre au compte des procédés et ateliers de mise en œuvre de la chaussée (qui diffèrent en fonction de la géométrie de la structure). Une baisse de la compacité (due à une insuffisance de compactage) aura une incidence directe sur le comportement à la fissuration, du fait de la chute des résistances et des modules.

II.3 CARACTERISATION DE PROCEDES ANTI-REMONTEE DE FISSURE

Il importe de bien mettre en évidence les rôles qu'il devra assurer. Des tests sont donc, avant tout, nécessaires afin d'identifier les caractéristiques intrinsèques des matériaux (ou des complexes) en vue de prédire leur comportement sur une chaussée réelle.

Il existe deux sortes de tests afin de décrire le comportement des systèmes de recouvrement des chaussées :

_ Les tests qui mettent en évidence l'adhérence de la couche de roulement et le système d'interposition (dans le plan ou perpendiculairement à ce dernier). L'adhérence sera fonction

de la méthode de fixation employée, tant dans la quantité du produit utilisé que du type de système d'interposition utilisé.

_ Les tests qui permettent de qualifier les performances des couches de roulement ; dans ce cas, la charge devient le paramètre dominant. Différents chargements peuvent être pris en compte : l'effet cyclique des variations de température, les charges répétées du trafic. Ceci permet de démontrer que des systèmes très efficaces dans un cas de sollicitation peuvent s'avérer inefficaces dans un autre.

II.3.1 Test d'adhérence :

Différentes méthodes existent afin d'identifier l'adhérence d'une couche de roulement sur son support : traction directe, cisaillement. Ils sont brièvement décrits dans la suite.

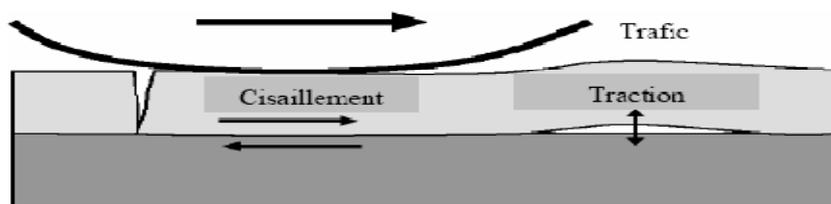


Figure II.4: Modes de sollicitation de l'interface sous conditions de trafic [RAA 04]

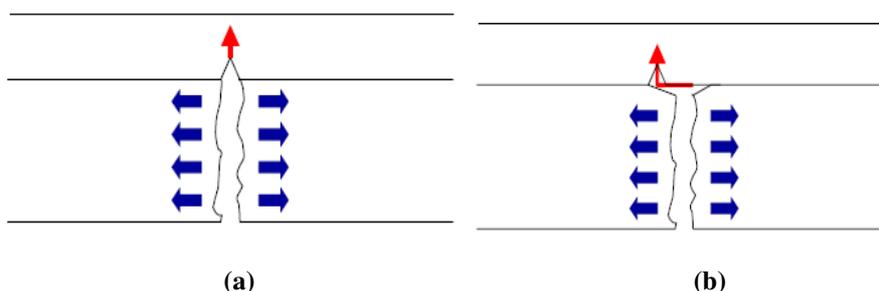


Figure II.5 : (a) Schéma de propagation dans le cas d'un collage parfait, sous trafic et effet des variations thermiques – (b) Schéma de propagation de la fissure en cas de décollement entre les deux couches

a- Traction directe :

Le test de traction directe (figure II.6) est utilisé en vue d'identifier les performances de collage de la couche de roulement sur son support vis à vis d'actions perpendiculaires au plan de collage. Le résultat de ce test sera fortement dépendant de la température de l'essai et de la vitesse de déformation choisie.

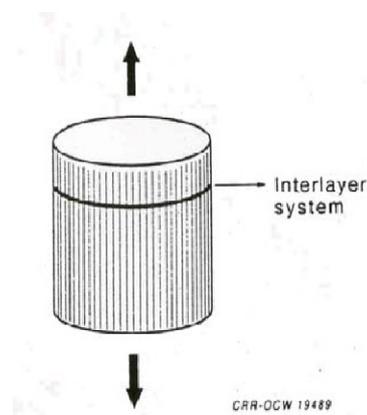


Figure II.6 – représentation schématique de l'essai de traction directe

b- Tests de cisaillement :

_ Cisaillement direct

La réponse de l'interaction entre le système d'interposition et la couche de roulement peut être obtenue par un test de cisaillement direct [LEU79] réalisé comme montré en (figure II.7). Les carottes peuvent avoir un diamètre allant jusqu'à 150 mm et ne nécessitent aucune préparation particulière préalable à l'essai. L'information fournie par cet essai est l'évolution de la force de cisaillement exercée en fonction du glissement de la partie sollicitée sur la partie fixe. L'inconvénient de ce test est une dispersion non négligeable des résultats.

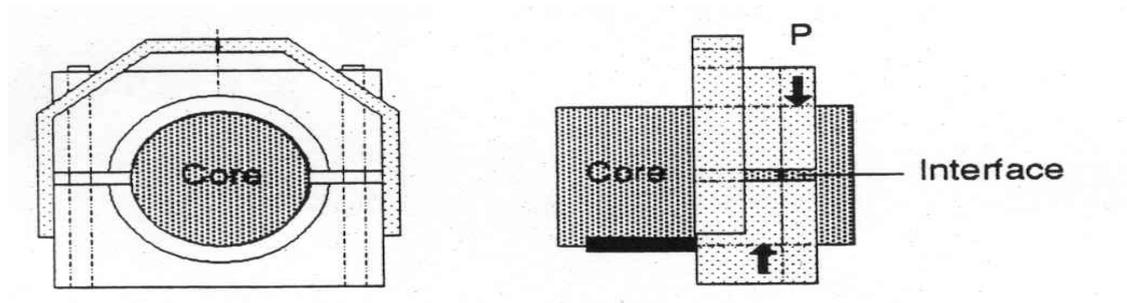


Figure II.7 – Principe de l'essai de cisaillement direct vu par Leutner.

Il ne faut pas oublier de souligner que malgré l'apparente simplicité de ce test, il est très difficile d'obtenir un cisaillement direct, l'essai est souvent parasité par un moment de flexion sur la surface cisailée. Des simulations [BON94] montrent que l'homogénéité de la distribution est fortement dépendante de la rigidité de la zone étudiée. La présence de presse Marshall dans la plupart des laboratoires a de plus, fortement contribué à son développement. Des modifications de l'essai de Leutner ont été apportées par l'Université de Delft [BER94] : il s'agit d'appliquer une pression perpendiculaire au plan de cisaillement afin de limiter ces moments parasites.

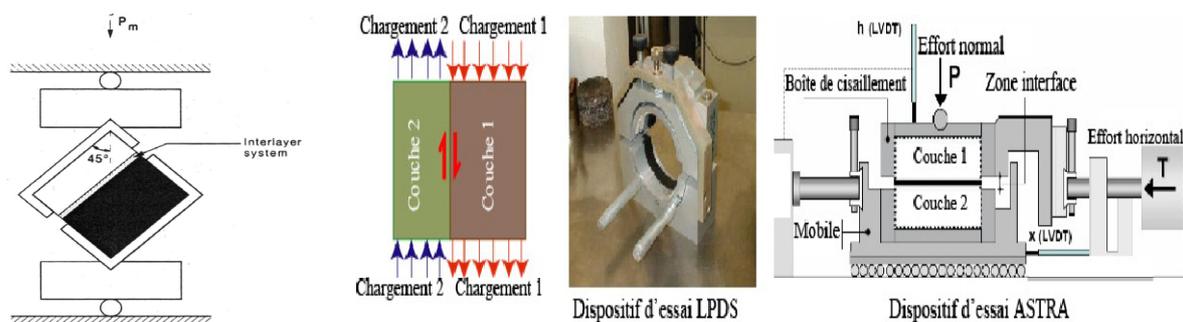


Figure II.8 – Test de cisaillement direct développé à l'université de Cracovie

II.4 TESTS DE LABORATOIRE POUR LA SIMULATION DU COMPORTEMENT DE LA COUCHE DE SURFACE SOUS CHARGEMENT REPETE (TRAFIC ET/OU THERMIQUE)

Plusieurs tests existent afin de mieux comprendre le comportement de l'enrobé (ou d'un complexe) sous les chargements thermiques ou de trafic (voire même, les deux combinées). Ce genre de test est généralement mené afin d'avoir une étude comparative entre différents produits, parfois mais c'est plus rare, ils aident à la validation de certains modèles numériques. Des pays se sont intéressés à ce problème de remontée de fissure, et notamment les Etats Unis, la fissuration est le plus souvent une fissuration de fatigue d'une chaussée souple dont on veut étudier la remontée de fissure au travers d'une couche de béton bitumineux d'entretien ou de renforcement sous l'effet du trafic. Le problème sera différent si l'on s'intéresse principalement à la remontée de fissure d'origine thermique d'une assise non fatiguée dans une couche bitumineuse sous l'effet combiné du retrait thermique et de la circulation.

II.4.1 Simulation du trafic :

On peut différencier trois classes de tests différents dans la simulation du trafic :

- _ Test de poutre en flexion
- _ Test avec passage réel d'une charge roulante

_ Test de poutre en flexion :

L'essai de fatigue en flexion (essai le plus couramment utilisé) est un test de structure représentant la couche de surface sur une base "souple" fissurée. La poutre de complexe repose sur une base flexible ou sur des rouleaux. La charge répétée est appliquée en surface afin de simuler le mode d'ouverture (mode I) ou le mode de cisaillement (mode II). Le chemin de fissuration est relevé en fonction du nombre de cycles. Ce genre de test (figure II.9) a permis à Rigo [RIG93] de conclure que l'emploi de bitume modifié dans les complexes de géotextiles non tissés ou SAMI est plus efficace pour lutter contre la remontée de fissure que l'emploi de bitume pur. Ce test peut être utilisé afin de connaître la capacité d'un complexe à travailler en renforcement dans une structure ; dans ce cas, l'information donnée par le test est la valeur de la déflexion verticale en fonction du nombre de cycles de chargement. Il a aussi été utilisé pour mesurer la résistance au cisaillement de l'interface [BUT82] sous l'action du freinage des véhicules. La critique la plus évidente qui peut être retenue contre ce genre de test est le problème des conditions aux limites ; c'est à dire la prise en compte de la réaction du reste de la structure en partie basse.

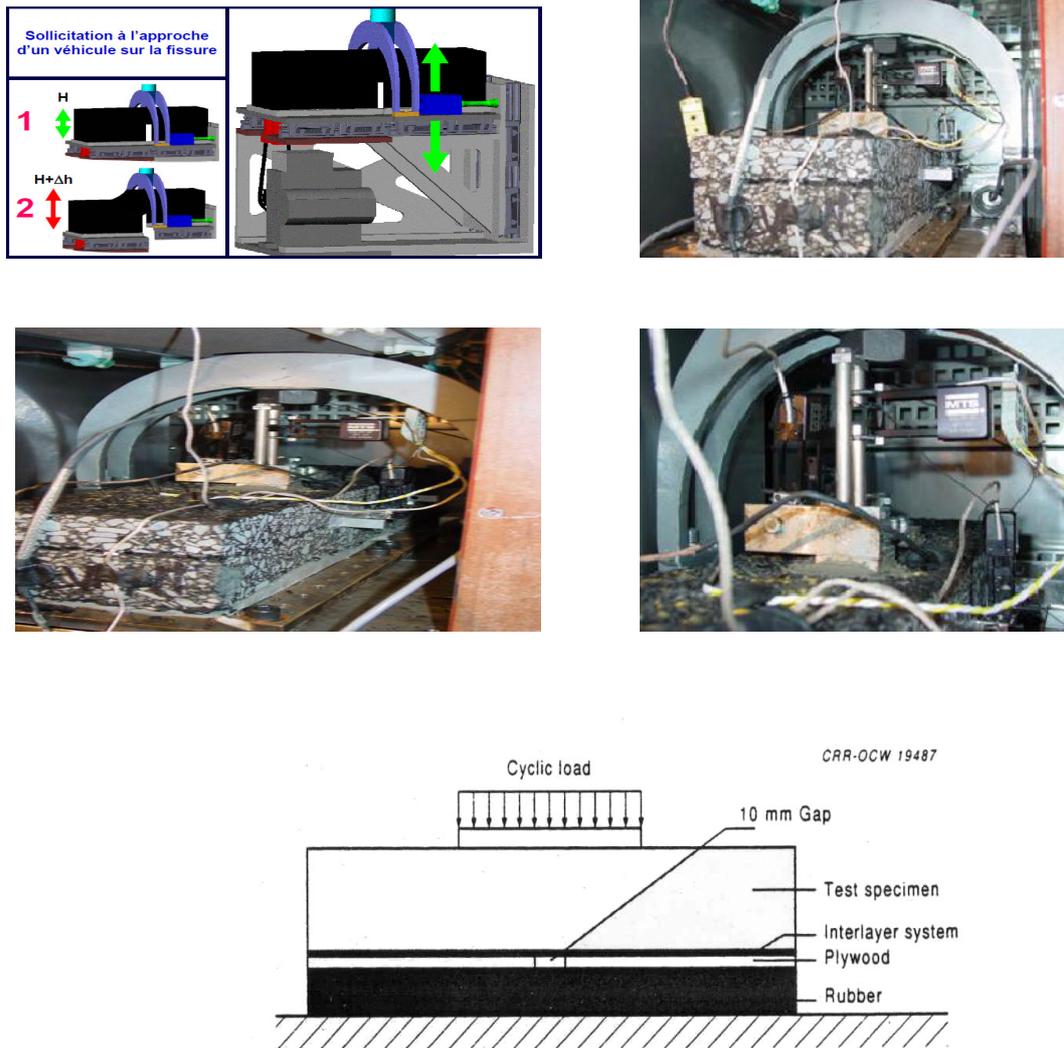


Figure II.9 : Représentation schématique et photos du test de flexion sur poutre [RIG93]

II.4.2 Simulation du passage d'une charge roulante Brown [BRO93], Yamaoka [YAM93]

Une plaque ou poutre, représentant la structure testée, est soumise à l'action d'une charge roulante réelle. Les investigations menées avec cet essai sont réalisées sur des échantillons plus grands que ceux des essais présentés précédemment et dans des conditions sans doute plus représentatives des conditions réelles. (En figure II.10), est montrée une représentation schématique d'un tel essai. Ce type d'essai présente aussi comme point faible le problème des conditions aux limites.

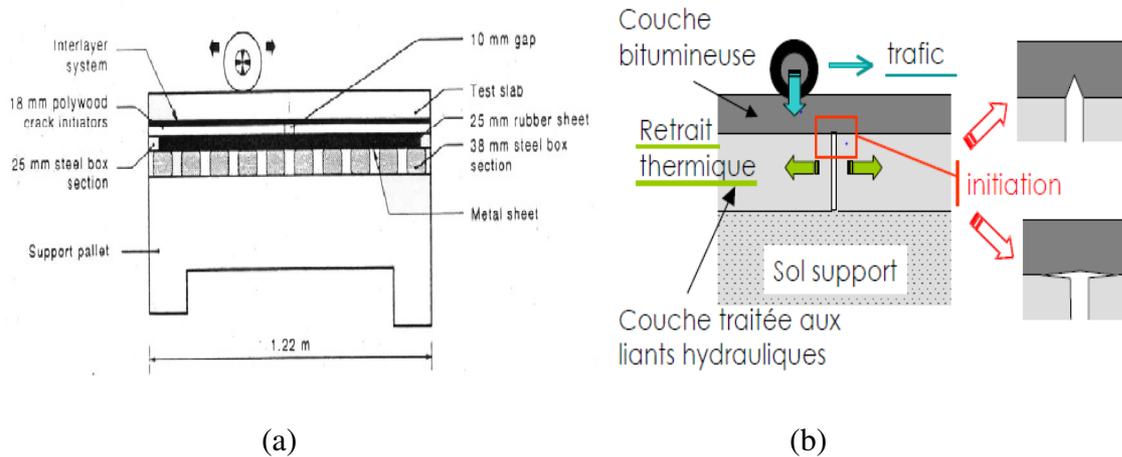


Figure II.10 : (a) Représentation schématique d'un test de passage de roue sur une plaque [BRO93]
 (b) propagation de fissure sous une charge roulante

II.4.3 Simulation des effets de chargement thermique :

Les effets thermiques peuvent être à l'origine de déformations importantes, créer des joints ou des fissures dans la couche de base. Les mouvements engendrés sont à des échelles de temps nettement supérieures à celles du trafic.

a- Test de simulation du retrait thermique dans la couche de base béton bitumineux

Les mouvements d'ouverture et de fermeture de joints dans la couche de base peuvent être simulés de différentes façons. Dans la figure (II.11), l'éprouvette est soumise à des cycles d'ouverture et de fermeture de la fissure dans la partie inférieure de l'échantillon [CLA89], [FRA93]. Ce test est surtout utilisé en vue de comparer l'efficacité des différents complexes anti-remontées de fissures.

Contrairement aux systèmes existants, l'essai de l'ENTPE offre la possibilité de tester un échantillon d'enrobé (ou également un complexe) avec une fréquence de sollicitation proche de celle des variations thermiques réelles [NEJ92]. Les informations données par ces tests vont de la simple observation du processus de fissuration en fonction du nombre de cycles à des mesures de propriétés plus fondamentales comme le module de cisaillement du système d'interposition ou la relation de comportement entre la contrainte et la déformation. Généralement, ces tests sont menés à des températures reconnues pour "favoriser" la fissuration, c'est à dire inférieures à -5°C dans la plupart des essais.

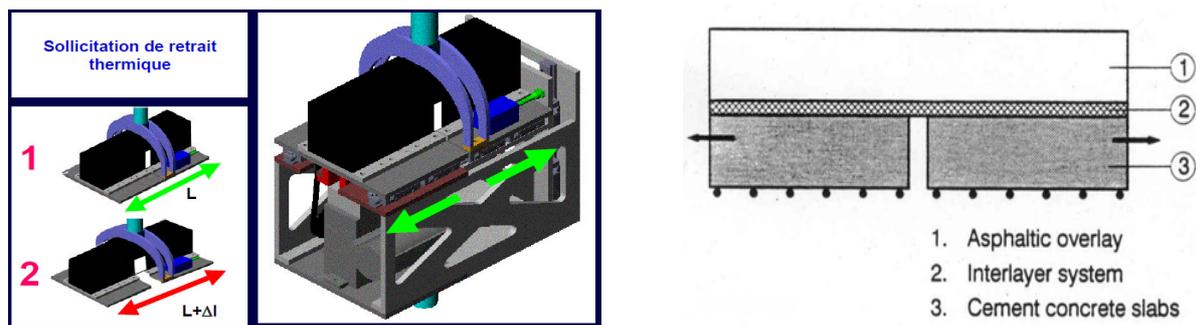


Figure II.11 : Représentation schématique du test de fatigue thermique du CRRB [FRA93]

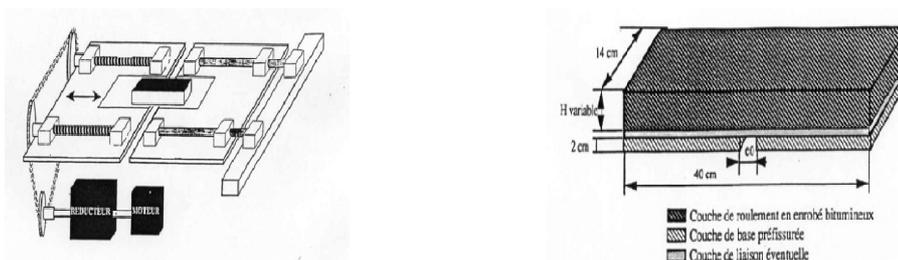


Figure II.12 : Représentation du procédé expérimental de l'essai de fatigue thermique de l'ENTPE [NEJ92] et son éprouvette

b- Simulation du retrait thermique dans la couche de surface :

Ces tests doivent simuler la fissuration dans l'enrobé de surface due à des amplitudes thermiques élevées. Ils donnent une information sur les contraintes mobilisées dans la couche de surface et sur sa résistance thermique. Bien que ce genre de test ne soit pas directement lié aux fissures qui remontent de la couche de base vers la surface, il donne des informations intéressantes sur la limite à la rupture des enrobés. De plus, la présence de contrainte thermique dans l'enrobé réduit d'autant la résistance vis à vis d'autres sollicitations. Les tests peuvent être menés sur des barreaux d'enrobé, maintenus à une longueur définie et auxquels est imposée une variation thermique [JIM79], [EIS92], [KAN92], [ARA90].

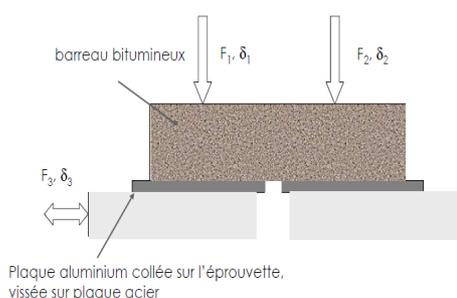


Figure II.13 : essais sur barreau bitumineux

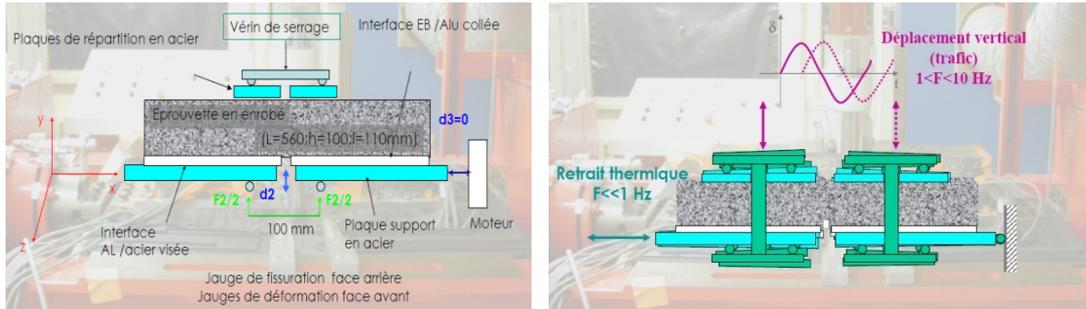


Figure II.14 : principe et fonctionnement et les sollicitations sur le mode barreau homogène

II.4.4 Simulation des effets combinés du trafic et des chargements thermiques dans la couche de base

Afin de simuler avec davantage d'acuité les remontées de fissures dues aux effets combinés des variations thermiques et du passage des charges roulantes, le laboratoire régional des Ponts et Chaussées d'Autun a développé un procédé original de fissuration. Cette machine de fissuration (présentée figure II.15) associe des sollicitations de flexion au retrait empêché (simulé par un taux de déplacement constant dans la couche de base). Cette machine d'essais a surtout été utilisée dans le but de comparer entre eux l'efficacité des différentes complexes anti-remontées de fissures [COL82]

Mais la pertinence des résultats d'essais n'a pas toujours été validée sur le terrain ; c'est pourquoi une nouvelle génération de machine a été conçue [WEN97], permettant notamment la simulation du battement, caractéristique du fonctionnement des couches d'assise discontinues

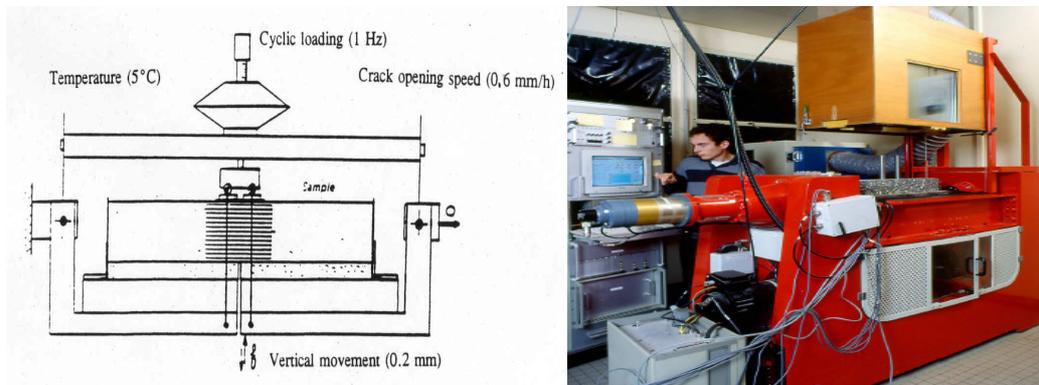


Figure II.15: Représentation schématique et photo du banc de fissuration du laboratoire régional des Ponts et chaussées d'Autun [VEC89], [DUM93]

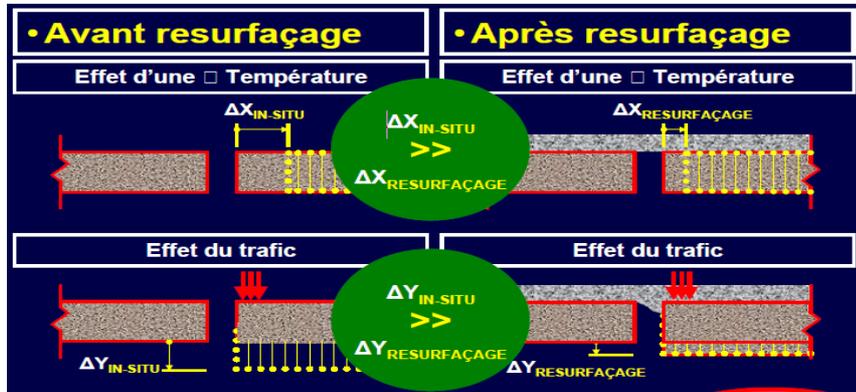
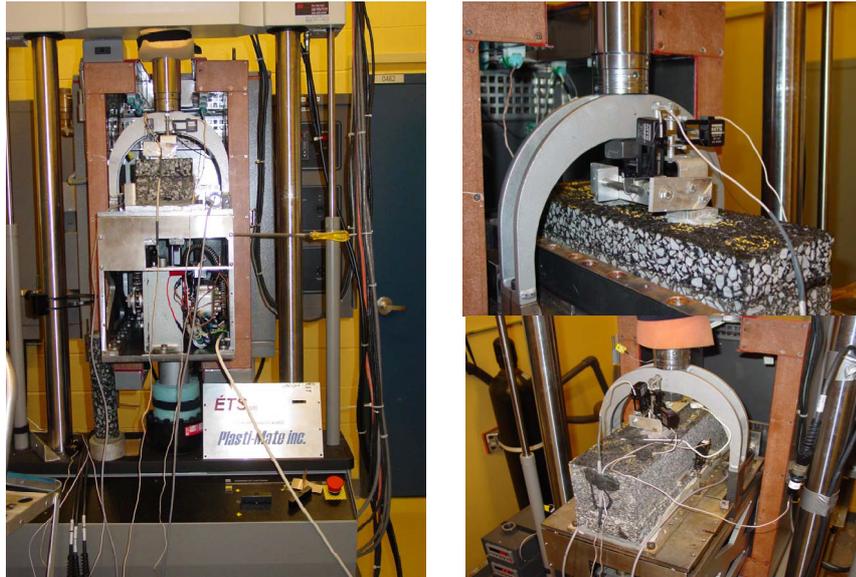


Figure II .16 : montage et montage expérimental du l'essai de suivi la remontée des fissures dans le système de resurfacement

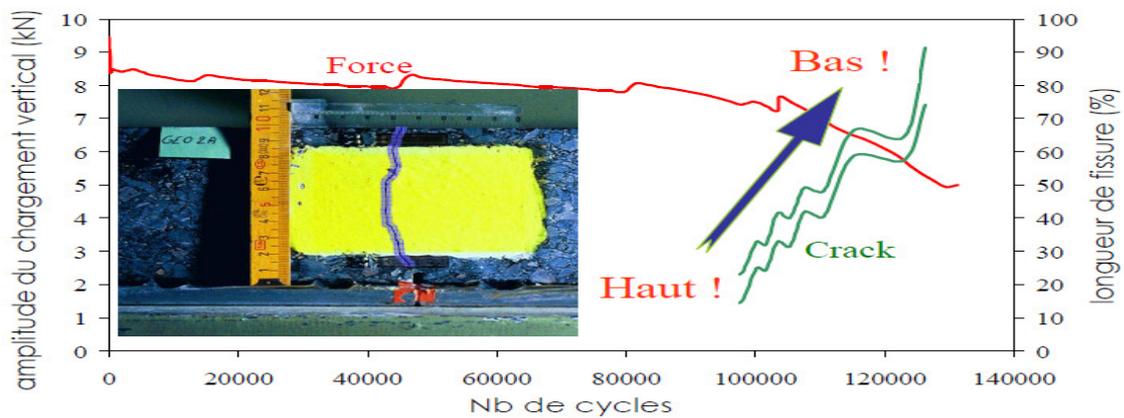


Figure II .17 : la remontée de fissure

II.5 Conclusion :

Les tests présentés dans ce chapitre ont tous comme ambition de mieux décrire le comportement de la couche de roulement (simple ou avec un complexe d'interposition) sous différents cas de chargements. Peu de dispositifs s'attachent à décrire complètement ce qui se passe dans la durée de vie réelle de la structure. Ces différents essais ont surtout permis de valider l'utilisation des procédés anti-remontée de fissures (ou peut être davantage retardateurs de remontée de fissures), mais pas dans toutes les situations de chargement qui existent (certains sont plus efficaces vis à vis de sollicitations de type mode I et d'autre vis à vis du cisaillement). La gamme des essais existants a surtout permis d'opérer un classement des différents complexes dans des conditions de chargement parfaitement définies. Bien que la validation de ces essais entre laboratoires soit parfaitement accordée, il n'a quasiment jamais été procédé à une corrélation grandeur nature sur un échantillon représentatif de sites. Il faut donc bien garder à l'esprit que l'identification des caractéristiques de la couche de roulement (surtout ses propriétés anti-remontées de fissures) grâce aux procédés expérimentaux présentés ci-dessus reste une identification dans une configuration donnée de chargement où tous les paramètres sont parfaitement connus.

La présentation de ces essais nous montre que la démarche des laboratoires n'est pas tant d'identifier une loi de propagation de fissure en fatigue que de comparer les techniques. Il est certain qu'il s'agit d'une stratégie à court terme. Cependant, pour aller au-delà, il sera nécessaire d'appréhender le comportement à la fatigue des matériaux et complexes pour intégrer la dimension structure dans l'analyse et aboutir à un outil d'optimisation du complexe adapté aux sollicitations et aux exigences de durabilité souhaitées du maître d'ouvrage.

CHAPITR III

TECHNIQUES ANTI-REMONTE DES FISSURES

III.1 MESURES PREVENTIVES LORS DE LA CONSTRUCTION :

Les moyens pour limiter en construction neuve les conséquences de la fissuration des assises d'enrobée bitumineux. 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 bitumineux,
- la conception des structures,
- la couche de roulement (choix),

III.1.1 La formulation des matériaux :

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 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.

a- Choix du granulat :

Les granulats sont impérativement issus de roche massive pour tous les enrobés sauf pour le BBS 6 et 10 roulé ou l'utilisation de sable roulé alluvionnaire est tolérée à hauteur de 15% maximum de la fraction minérale totale

Les caractéristiques minimales des granulats doivent être conformes aux spécifications des normes NF EN 13043 et XP P 18-545 rendues contractuelles.

Le squelette minéral est obtenu par recombinaison de sables 0/2 ou 0/4, de gravillons 2/4, 2/6, 4/6, 4/10, 6/10, 10/14 ou 10/20, provenant d'une même carrière.

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

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

b- Influence de la granularité :

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

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.

c- Choix du liant :

Les essais en laboratoire montrent que la déformation à la rupture des matériaux bitumineux 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 bitumineux 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 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. Ces techniques utilisent le bitume modifié en usine par l'ajout de polymère, d'élastomère, de fibre organique, etc.

Cette modification a pour objectif l'amélioration des caractéristiques des bitumes et des émulsions afin d'augmenter la résistance des mélanges aux différentes sollicitations qu'ils sont appelés à supporter, aussi bien celles du trafic que celles des agents climatiques.

Les polymères et les élastomères ou d'autres produits modifiant les bitumes, permettent de rendre les bitumes ainsi modifiés moins sensibles au gradient thermique. Cette propriété élimine déjà la fissuration en temps de froid et les ressuges pendant les épisodes des températures élevées. Ils sont également à l'origine d'une augmentation de la cohésion des mélanges ce qui est favorable à une diminution des structures d'entretien, une parfaite étanchéité et une résistance à la déformation permanente. Pour les mêmes performances techniques, les structures à base de bitume modifié sont moins importantes que celles réalisées par des liants classiques.

Les chaussées aéronautiques, comme les chaussées routières peuvent faire appel aux techniques de traitement, 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.

III.1.2 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.

La construction de structures aéronautiques neuves peut faire appel à des matériaux réputés fissurant 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.

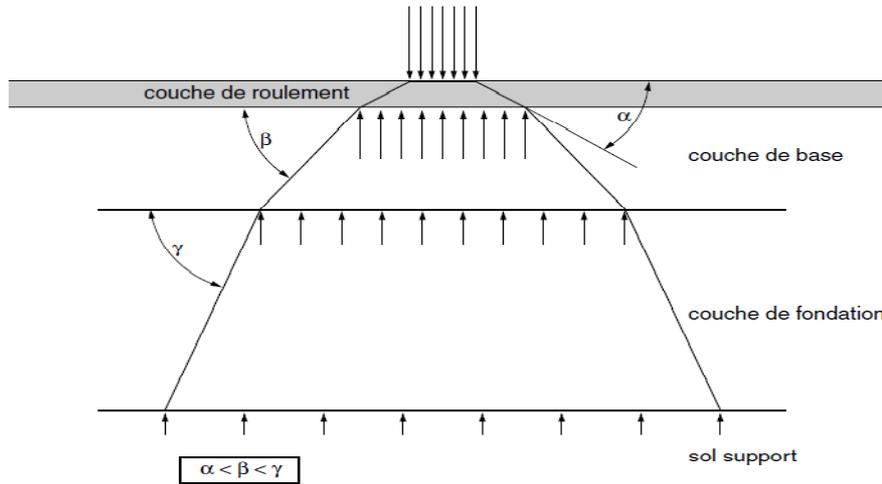


Figure III.1 : Répartition de la charge d'une roue d'atterrisseur dans les différentes couches de matériau constituant une chaussée souple

Toutes les chaussées aéronautiques de ce type ont été jusqu'ici conçues en admettant, avec une approximation jugée suffisante, que, comme le schématise la figure ci-dessus, la charge, appliquée par une roue d'atterrisseur à la surface d'une chaussée souple, descend dans le corps de celle-ci à l'intérieur d'une succession de surfaces réglées dont les génératrices forment avec la verticale un angle, caractéristique du matériau traversé, qui se resserre au passage de chaque couche à sa suivante.

La rupture de l'équilibre intervient lorsque, le sol support ne pouvant plus exercer une réaction égale à la charge appliquée, les couches supérieures lâchent à leur tour.

Il y aura alors poinçonnement du terrain d'assise, la figure montrant que, pour une charge donnée, il y a relation entre la réaction limite, ou portance du sol support, et l'épaisseur du corps de chaussée.

III.1.3 La couche de roulement :

La couche de roulement est la couche supérieure du revêtement. C'est donc la couche généralement la plus sollicitée, celle qui subit l'action directe du trafic et des agents climatiques.

La couche de roulement doit donc posséder les caractéristiques propres pour résister durablement aux sollicitations auxquelles elle est soumise.

a- Type :

En fonction de l'épaisseur de la couche, on distingue les enrobés (≥ 15 mm) et les traitements superficiels (< 15 mm).

Enrobés à chaud :

Les couches de roulement les plus largement utilisées sont les enrobés à chaud. Parmi ceux-ci on distingue :

- les enrobés à squelette sableux et à granulométrie continue (BB = béton bitumineux), éventuellement cloutés ;
- les enrobés à squelette pierreux et à granulométrie discontinue (RUMG,RMD, RMTO, enrobés drainants, SMA).

Traitements superficiels :

Les traitements superficiels sont principalement utilisés comme couche d'entretien d'anciens revêtements.

Ils se composent des enduits superficiels et des RBCF.

Les RBCF sont obtenus par l'application en une seule passe d'un mélange contenant des agrégats minéraux, du filler, une émulsion de bitume (modifié ou non) et divers adjuvants éventuels.

b- 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.

III.2 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.

III.3 COMPORTEMENT DE LA COUCHE FISSUREE :

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 a 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.

III.3.1 Le colmatage :

C'est un scellement par pontage qui vise à rétablir l'étanchéité par répondage d'un mastic à faible surépaisseur à cheval sur la fissure préalablement nettoyée.

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.

Ces documents définissent cette technique dont on peut souligner les points essentiels suivants :

- Nécessite d'une préparation du support qui doit être absolument sec propre et à une température supérieure à 5
- Emploi d'un matériel adapté. Il convient d'utiliser la lance thermo pneumatique pour le décapage et le séchage du support le matériel de mise en œuvre de produit doit permettre le respect et la régularité des dosages et de température.
- Utilisation de produit et homologues en respectent les conditions d'emploi.
- Respecter les épaisseurs (environ 2 mm) et les largeurs (environ 5 à 15 cm) et soigner le micro-gravillonnage de protection.

Le colmatage est un procédé d'entretien de fissure :

Lorsque la fissuration est normalement apparue en surface et le temps de réaliser le colmatage des fissures (imperméabilisation, ralentissement de l'évolution des fissures à 3 ans.

Entre 8 à 12 ans d'âge il est temps d'assurer un premier entretien général avec une nouvelle couche de roulement, cette couche va permettre d'effacer de l'ordre de 50 % des fissures.

Le colmatage peut être présenté comme une technique limitant l'évolution d'une fissuration de retrait apparue en surface de chaussée.



Figure III.2 : Aériodrome ILLIZI : Colmatage de fissures de joints au milieu de la piste non réussi (les bandes centrales) dépôt de gomme important, formation de mailles larges par combinaison fissures longitudinale et transversale

III.3.2 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 au béton bitumineux.

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 « 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 anti-fissure 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 utilisés pour l'entretien de chaussées souple.

a- 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 granulat 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 anti-fissure » 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 imposent 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.

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 souple sous-jacentes n'est réapparue.

Exemple : SABLE ENROBÉ ANTI-REMONTÉE DE FISSURES :

Les fissures parfois visibles à la surface des routes nuisent non seulement au confort des automobilistes mais conduisent à des risques de dégradation rapide des chaussées par percolation d'eau dans leurs structures.

Pour remédier à ces inconvénients, Eurovia a mis au point un certain nombre de techniques anti-remontées de fissures, utilisables en entretien curatif ou de façon préventive.

Certains de ces procédés sont polyvalents et destinés aussi bien à des opérations d'entretien qu'à des travaux neufs.

VIASAF : est un sable enrobé anti-remontée de fissures appliqué en couche d'interposition sur un support fissuré (ou fissurable). Sa fonction est d'empêcher la propagation de fissures de retrait thermique des matériaux traités aux liants hydrauliques ou de joints de dalles en béton vers la surface de la chaussée.

La composition très spécifique de VIASAF fait appel à une formule granulaire 0/4 mm ou 0/6 mm continue, très riche en bitume fortement modifié par des polymères.

Appliqué en épaisseur moyenne de 20 mm, VIASAF agit comme une véritable membrane suffisamment déformable pour absorber les contraintes induites par les fissures ou les joints.

D'une épaisseur adaptée au trafic, la couche de roulement impérativement associée à VIASAF procure les caractéristiques de surface indispensables à la sécurité des usagers, en particulier l'adhérence. Les enrobés spéciaux à liants modifiés développés par Eurovia, comme par exemple RUGOVIA M, sont bien adaptés à cet usage.

VIASAF : souple et résistant.

Retardateur de fissuration :

Le Laboratoire régional des ponts et chaussées d'Autun a mis au point un essai de retrait flexion qui simule l'ouverture d'une fissure de retrait sous trafic. Le matériau à tester est collé sur un enrobé pré-fissuré et soumis à la fois à une élongation lente et à une flexion verticale cyclique. Un rapport ® est établi entre le temps de fissuration du matériau testé et celui d'un complexe témoin constitué de 2 cm de sable enrobé au bitume pur surmonté de 6 cm de béton bitumineux semi-grenu (BBSG) également au bitume pur.

UN ENROBÉ TRÈS SPÉCIAL :

VIASAF doit dissiper les contraintes provoquées par les variations d'ouverture de fissures et donc présenter des caractéristiques d'élongation et d'auto-réparation importantes.

Une bonne résistance à l'orniérage et une cohésion suffisante pour que la couche de roulement ne soit pas sollicitée en fatigue sont également indispensables.

Ces exigences techniques, apparemment antinomiques, sont atteintes grâce à un liant haut de gamme choisi parmi les bitumes fortement modifiés par des polymères POLYBITUME mis au point par Eurovia, ou dans celle des liants Styrelf.

Les formules de VIASAF font appel à un module de richesse élevé (de l'ordre de 5,5) associé à une teneur en fines importante (12 à 15 %). Ces compositions comprenant 8 à 10 % de liant et très riches en mastic assurent les propriétés souhaitées.

La mise en œuvre est réalisée à l'aide de matériels routiers traditionnels.

VIASAF est un procédé d'entretien des chaussées fissurées. Il est applicable également en travaux neufs sous certaines conditions. Dans tous les cas, il doit être mis en œuvre sur un support présentant un bon uni.



Coupe présenté
un fissure traité par sable enrobé



vue en plan



la mise en place de sable enrobé

(Figure III.3)

b- Interposition d'un géotextile :

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.

On suit les étapes suivantes :

Première étape : fraisage et nettoyage de la surface de la chaussée ;

Deuxième étape : comblement des fissures par un produit bitumineux adapté ou application d'une couche de reprofilage ;

Troisième étape : la quantité de liant de saturation est appliquée uniformément et dépassée de 10 cm au maximum de géocomposite à installer.

Le choix de type de produit dépend des conditions climatiques et du type de revêtement bitumineux utilisé ;

Quatrième étape : le PGM est déroulé sur la couche d'accrochage ou moyen d'un engin de pose ;

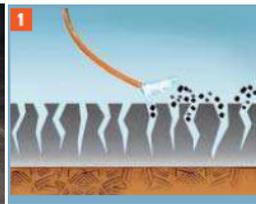
Cinquième étape : le revêtement bitumineux, d'une épaisseur minimum de 40 mm, et collé à chaud et peut être posé immédiatement après le PGM.



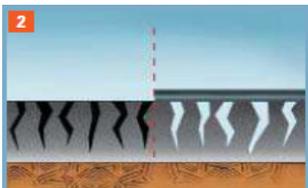
Fraisage



nettoyage



nettoyage de fissures



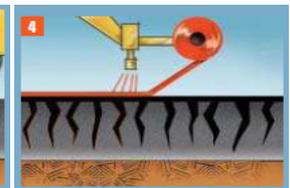
Colmatage



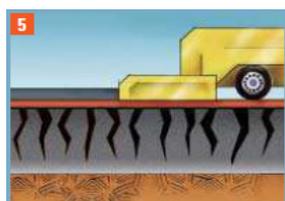
émulsion de bitume



la quantité de liant saturée



Mise en place de géotextile



Mise en place de la couche bitumineuse

(Figure III.4)

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.

Mise en place du géotextile sur la couche d'accrochage

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 plus couche de roulement même lorsque la fissure réapparaît en surface.

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.

L'application de géotextile PGM dans l'aérodrome de Macapagal manila 2004

Les procédés de construction :



Tanker avec pulvérisation contrôlée
Bar pour l'application du bitume



Tirage initial de bitume pur
Domaine d'application.



Installation de PGM G 100/100
Pavage tissu.



Pavage installation du tissu en utilisant
une plate-forme de pavage.



. Brosses spécialement fabriqué prévenir
Les rides sur le tissu.



Traitement de correction de rides
Domaines problématiques.



Vue d'ensemble des tissus de revêtement complètement saturé avec couche d'accrochage bitume



Vue d'ensemble de dallages tissus.



Basculement de béton bitumineux installé dans chargeuse sur chenilles.



Présentation de béton bitumineux étant sortie de chargeuse sur chenilles.



Contrôle des rejets des 50 cours De liant SMA mm.



Vue d'ensemble de l'asphalte uniforme De béton se propager.



Section complet 3de la voie de circulation.



Extraction complète de carotte montrant Biding de PGMG de revêtement En asphalte et la couche de liaison.



Affichage complet carotte indiquant PGM G 100/100 tissu.

(Figure III.5)

EXEMPLE :

Présentation du renforcement de l'aérodrome d'Ouargla par géotextile :

L'étude de renforcement des aires de manœuvres de l'aérodrome d'OUARGLA, sauf la piste secondaire et le parking civil, a été demandée par la D.T.P d'Ouargla à la S.A.E.T.I (SOCIETE ALGERIENNE D'ETUDES D'INFRASTRUCTURES).

1. Historique De L'aérodrome :

L'aérodrome d'OUARGLA date de la période coloniale (vers 1954), construit sous l'administration française à des fin surtout militaires ; au lendemain de l'indépendance il devient un aéroport mixte, il à subit plusieurs renforcements et extensions la dernière en date est c'elle de 94, aussi il a été entretenu régulièrement a partir de l'an 2000.

En 2000 : -colmatage des fissures de la piste 02/20 sur 48000ml

En 2001 : -idem que 2000

En 2002 : - colmatage des fissures de la piste 02/20 sur 16000ml.

- colmatage des fissures de la piste 18/36 sur 9000ml.
- réparation des joints des dalles de la piste 02/20 sur 2850ml.
- réparation des dalles de la piste 02/20 sur 200m².

En 2003 : - dégommage de la piste 02/20 sur 10/850m².

- colmatage des fissures de la piste 02/20 sur 5000ml.
- colmatage des fissures du taxi way sur 16250ml.

En 2004 : - dégommage de la piste 02/20 sur 15000m².

- colmatage des fissures de la piste 02/20 sur 8000ml.

Et en 2005 : - colmatage des fissures de la piste 02/20 sur 26000ml.

2. Les géotextiles contre les remontées des fissures :

- La fatigue due au trafic, les retraits thermiques et hydrauliques sont les principales causes de la fissuration d'une chaussée. Un géotextile imprégné de bitume incorporé à la structure ralentit la remontée des fissures et permet de rallonger la durée de vie de la chaussée.

La région est caractérisée par un climat aride avec des étés chauds et secs d'une température qui peut atteindre les 50°C, et des hivers très froids par des températures souvent au dessous de 0°C la nuit.

Les données climatologiques de la ville d'OUARGLA nous on étaient fournit par l'office national de météorologie.

Température du mois le plus chaud (juillet) des 5 dernières années = 50° C

Température du mois le plus froid (janvier) des 5 dernières années = 00° C

- La réparation d'une chaussée fissurée par un simple revêtement de bitume ne modifie pas le fonctionnement mécanique de la chaussée, et les fissures réapparaissent

rapidement. Les mortiers bitumineux (sable + bitume) interposés entre la couche de roulement et le support sont efficaces, mais souvent plus coûteux.

- La Géotextile, constitue une solution technique efficace et économiquement satisfaisante pour ce genre de dégradations.



Échantillon de géotextile

colmatage des fissures

Mise en œuvre de la couche
d'accrochage en émulsion



Mise en place de géotextile



Mise en œuvre de la couche de roulement en BB

(Figure III.6)

c- Interposition géogrilles:

Ces géogrilles en polypropylène, en polyester ou en fibre de verre combiné à la pose d'un enduit peuvent prétendre à un rôle de renforcement.

1. Fonction des caractéristiques du matériau composant la géogrille;

L'introduction de grilles de polymères dans les enrobés bitumineux permet d'obtenir un renforcement structurel des chaussées sans augmenter les épaisseurs des couches supérieures ni retraiter les couches de fondation.

Le renforcement des couches de roulement par grilles sur support fracturé est une pratique aujourd'hui courante pour retarder la transmission des fissures. La solution de renforcement d'enrobé bénéficie dans cette application d'un avantage économique certain en comparaison avec des solutions plus conventionnelles.

Le renforcement de structure ainsi obtenu permet de modifier les deux critères de rupture structurelle des chaussées : la fissuration par fatigue lié au manque de portance du sol support. Bien que les avantages économiques des applications structurelles des systèmes enrobé/ grille soient plus complexes à estimer que ceux du renforcement anti-fissure, l'expérience montre que les structures en enrobé renforcé permettent une économie de matériaux lors de la construction.

2. Effets positifs sur le comportement et la durée de vie des enrobés :

Différents essais ont été menés en laboratoire, notamment sous la direction du professeur Steve Brown, de l'Université de Nottingham (Royaume-Uni). « Ces essais, bien qu'ils n'aient pas été menés conformément à la méthode d'essais de fatigue mécanique en vigueur en France, explique Jean Luc Walter (Tensar), ont fait l'objet d'une instrumentation détaillée et mettent en évidence l'effet de diffusion des déformations en traction de la grille de renforcement et l'action de celle-ci sur le comportement à la fissuration des enrobés. »

Comment une grille peut-elle contrôler la fissuration des enrobés?

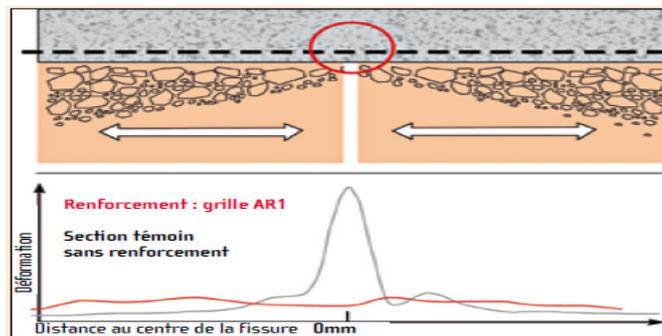


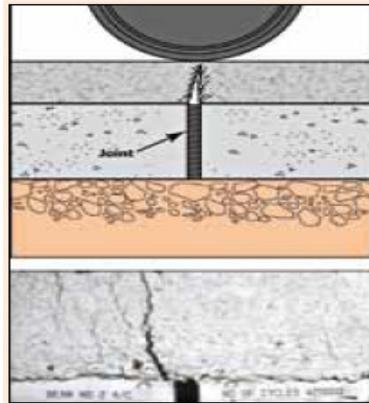
Figure III.7 : La grille AR1 empêche le développement de la déformation au centre de la fissure, procurant à l'enrobé une résistance accrue à la fissuration thermique.

3. Remontée des fissures à l'origine thermique :

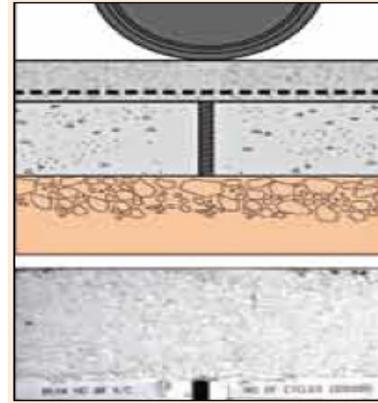
La remontée des fissures dans les chaussées est due à une concentration de la déformation sur les fissures ou les joints de construction du support. Une recherche menée par l'Université de Nottingham a démontré que l'utilisation d'une grille supprime les déformations de pic nécessaires à l'ouverture des fissures.

L'appareil comporte un support plan constitué de deux plateaux de béton, de 1 mètre de long par 200 mm de large chacun. Les plateaux sont montés sur un système permettant de faire varier la distance entre eux. Le système retardateur de remontées de fissures est construit directement sur les plateaux. Le retrait thermique est simulé en écartant les deux plateaux, permettant ainsi de soumettre le système à une contrainte en traction. Dans cet essai, des

jauges de déplacement ont été positionnées pour suivre la réponse du système, notamment lorsqu'une grille est présente. L'essai a eu lieu à -5°C avec une ouverture de fissure de 2 mm.



La fissuration traverse l'enrobé non renforcé en 425.000 cycles



L'enrobé renforcé ne présente toujours pas de fissuration significative après plus de 1.000.000 de cycles

(Figure III.8)

La présence d'une grille minimise l'apparition des remontées de fissures.

Dans une couche bitumineuse :

4. Remontée de fissures induites par le trafic :

Une couche de roulement placée sur un support fissuré aura une durée de vie réduite par la remontée des fissures due au trafic.

Des essais réalisés à l'Université de Nottingham ont mis en évidence une réduction de la vitesse de remontée des fissures lorsque le revêtement est renforcé par une grille Tensor. Un essai de flexion cyclique a été utilisé pour étudier la résistance d'un revêtement en enrobé bitumineux à une flexion répétée et concentrée sur la fissure d'un support fracturé. Cet essai utilise un système constitué de deux plaques d'aggloméré montées sur un socle en caoutchouc pour simuler l'effet de flexion. Une charge cyclique, centrée sur le joint entre les plaques (fissure) est appliquée sur l'enrobé et l'ouverture de la fissure enregistrée en fonction du nombre de cycles de chargement.

5. Fissuration de fatigue :

Dans une couche bitumineuse non renforcée, la déformation à la base de la couche n'est pas distribuée de façon homogène mais concentrée sur les zones de moindre résistance, à partir desquelles la fissuration s'amorcera. Dans le cas des enrobés renforcés, la grille génère un confinement qui limite l'ouverture des fissures potentielles et retarde leur apparition (fatigue structurelle et remontée de fissures).

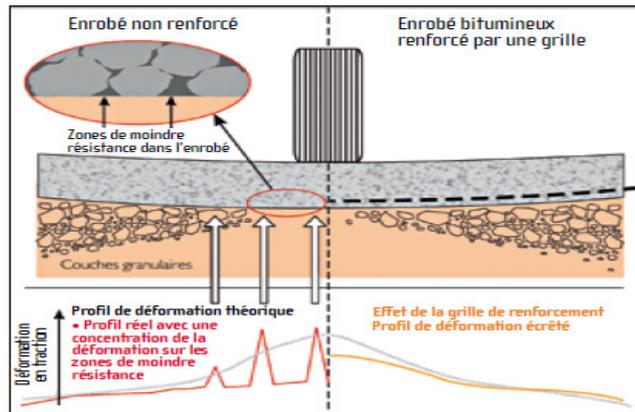


Figure III.9 : Les grilles permettent de limiter les concentrations de déformations à la base de la couche d'enrobés.

EXEMPLE

Présentation du renforcement de l'aérodrome de Djanet :

Introduction :

En 1999, une étude de renforcement a fait aboutir à un renforcement des chaussées existantes par une structure souple composée de 10 cm de GB et 08 cm de BB après colmatage des fissures existantes ; en 2001 les travaux ont commencé par la mise en œuvre de la Grave Bitume sur la piste secondaire, juste après, les fissures ont réapparu en surface de l'enrobé répandu, tout le long des fissures sous-jacentes ; face à cette situation, il a été décidé d'interposer une nappe de géogridde pour éviter la remontée des fissures en surface de la couche de roulement. Le CTTP a assuré le suivi de mise en œuvre de la géogridde en fibre de verre et également le contrôle qualité du produit livré par des essais au laboratoire.

1. Historique et dimensions des infrastructures existantes

L'infrastructure construite en 1984 n'a subi aucune opération de renforcement depuis lors, à l'exception des interventions d'entretien. Il comprend les principaux ouvrages suivants :

Une piste principale orientée 13/31 de 3000x45 m²

Une piste secondaire orientée 02/20 de 2400x45 m²

Une aire de stationnement de 315x105 m²

Une voie de circulation de 1342x25 m²

2. Structure des chaussées existantes

Piste principale 13/31 : la chaussée est composée des couches suivantes :

- une couche de Roulement de 9 cm d'épaisseur en Béton Bitumineux (BB) 0/14,

- une couche de Base de 20 cm d'épaisseur en Grave Non Traitée (GNT) 0/20,
- une couche de fondation de 25 cm d'épaisseur en arène granitique.

Piste secondaire 02/20 : la chaussée est constituée de la structure suivante:

- une couche de Roulement de 11 cm d'épaisseur en BB 0/14,
- une couche de Base de 25 cm d'épaisseur en arène granitique (AG) 0/10,
- une couche de fondation de 30 cm d'épaisseur en (AG) 0/10.

3. Étude de renforcement et solution adoptée en 2001 :

La solution de renforcement qui a été préconisée en 2001 consiste en un traitement des fissures par un produit de colmatage avant la mise en place de la couche de reprofilage en Grave-Bitume GB (0/20) de dix (10) cm d'épaisseur et la couche de roulement Béton Bitumineux BB(0/14) sur une épaisseur de 8 cm.

4. Anomalies survenues après la mise en œuvre de GB (0/20) en décembre 2002 :

Les travaux ont commencé en mois de Décembre 2002 par le colmatage des fissures, dès la pose de la première bande de la Grave Bitume 0/20, il a été relevé des remontées des fissures longitudinales avec des ouvertures variables entre 3 et 5 mm et de longueur allant jusqu'à 22 m. D'autres fissures transversales et gonflement ont surgi aussi avec une faible densité.

La figure 5 montre la remontée d'une fissure dans la grave-bitume 0/20.



Figure III.10 : Fissure longitudinale de remontée après la mise en œuvre de la GB 0/20

Face aux anomalies constatées, il a été décidé d'interposer une nappe de géogridde sur les 30 m centraux de la piste secondaire pour retarder la remontée de ses fissures avant la mise en œuvre de la couche de roulement en Béton bitumineux 0/14.

5. Contrôle de qualité de la géogridde livrée sur site

5.1 Fiche technique du produit

Caractéristiques physiques :

- dimension des mailles : 40 X 30 mm
- grille en fibre de verre : 153 g/m²
- enduction polymère : 130 g/m²
- non tissé en fibre de polyester : 17 g/m²

- thermocollant : 23 g/m²
- épaisseur (1mm
- masse surfacique (NF EN 965) = 320 g/m²

Caractéristiques mécaniques :

- résistance à la rupture : (NF EN ISO 10319)
- sens longitudinal : > 50 kN/m
- sens transversal : > 50 kN/m
- résistance à la traction sous 2% d'allongement : (NF EN ISO 10319)
- sens longitudinal > 20 kN/M
- sens transversal > 20 kN/M
- allongement à la rupture : (NF EN ISO 10319)
- sens longitudinal < 5%
- sens transversal < 5%

6. Objectifs du renforcement par géogridde :

L'interposition de la géogridde a pour but de retarder la remontée des fissures des couches sous-jacentes, d'augmenter la résistance à la traction de la couche d'enrobé et d'absorber une part importante des forces de traction horizontales en assurant ainsi l'étanchéité de l'enrobé même si la couche de surface est fissurée.

7. Essais de laboratoire et résultats obtenus

Afin de tester la qualité du produit livré, trois échantillons ont été prélevés sur le site du projet et ont fait l'objet d'une série d'essais au laboratoire accrédité COFRAC. Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau .

Tableau : Résultats des mesures sur les trois échantillons

qualité	Résistance maximal à la traction		Résistance à 2% d'allongement Large KN/m	D'déformation l'effort maximal en %		Masse surfacique (g /m ²)	Epaisseur nominale sous une pression de		
	Long KN/m	Large KN/m		Long (%)	Large (%)		2 Kpa	20 Kpa	200 Kpa
Produit livré	39,7	61,5	-	1,3	2,7	286	1,2	1,1	0,9
	44,5	62,6	50,10	1,6	2,6	289	1,34	1,18	1,0
	40,1	63	46,60	1,4	2,5	288	1,4	1,2	1,02
Coefficient d variation en%	8,7	9,3	-	16,8	11,5	5,0	6,1	5,3	4,2
	4,0	5,4	-	11,6	13,2	5,4	5,7	6,2	5,8
	7,2	4,7	-	14,4	14,2	3,7	2,9	2,5	1,5

Commentaire et conclusion

Les résultats d'essais de traction obtenus au laboratoire, conformément à la norme NF EN 10319, donnent des valeurs moyennes de résistances ; ces moyennes sont associées à un écart type exprimant la dispersion des valeurs obtenues à l'essai. Le coefficient de variation CV est le rapport de l'écart type à la moyenne exprimée en %. Cette moyenne est connue avec une certaine confiance exprimée en termes d'intervalle prenant en compte le nombre d'essais réalisés ; plus le nombre d'essais est grand plus cet intervalle est serré.

En comparant ces valeurs avec les caractéristiques mentionnées dans la fiche technique, qui donne une valeur nominale avec une tolérance de 10 % soit 50 + 05kN/m (entre 45 et 55 kN/m) dans les deux sens (production et largeur), nous constatons que la valeur de résistance dans le sens largeur s'insère dans la plage de variation des valeurs obtenues par les essais au laboratoire et légèrement au dessous des limites dans le sens de production. Concernant les autres spécifications (masse surfacique, épaisseurs, déformation à l'effort maximal et résistances sous une déformation donnée) les valeurs mesurées sont acceptables.

8. Suivi de la mise en œuvre de la géogridde

Les étapes de mise en œuvre de la géogridde étaient les suivantes :

- préparer la chaussée existante par soufflage et nettoyage ;
- répandre de la couche d'accrochage en émulsion cationique à rupture rapide, à raison de 700 g/m² ;
- attendre la rupture de l'émulsion, qui se traduit par le changement de sa couleur de brun à noir ;
- dérouler le tapis de géogridde ;
- assurer le recouvrement transversal de 15 cm et longitudinal de 20 cm du produit de répandage en émulsion sur les lés ;
- mettre en œuvre la couche de roulement en BB 0/14.

Les différentes phases de la mise en place de la géogridde sont illustrées sur les Figures(III.11)



Mise en œuvre de la couche d'accrochage en émulsion



Mise en place de la géogridde



Mise en œuvre de la couche de roulement en BB 0/14

(Figure III.12)

9. Difficultés rencontrées lors de la pose de la géogrille :

Lors de la pose de la géogrille, plusieurs évènements ont gêné le bon déroulement de l'opération: formation de plis dans le tapis de géogrille lors du passage des camions alimentant le finisseur d'enrobé, problèmes d'adhésivité entre les couches d'enrobés par défaut de dosage et/ou à cause de la qualité de la couche d'accrochage, défaut de stockage du matériau qui s'est traduit par la formation d'ondes lors de la pose des rouleaux de géogrille comme on le voit sur les (Figure III.13)



Formation de plis lors du passage des camions



Défaut d'adhésion entre les couches d'enrobé et déchirure de la géogrille



Défaut de stockage (pré-déformation des rouleaux se trouvant en bas du chargement)

(Figure III.13)

10. Solutions adoptées face aux difficultés rencontrées :

Afin de remédier aux problèmes cités plus haut, nous avons recommandé l'utilisation d'une émulsion cationique à 70% de bitume, récente et à rupture rapide avec une augmentation du dosage à 1kg/m².

Pour éviter la pré-déformation du produit, les rouleaux ont été stockés sur un seul niveau en évitant toute superposition.

Comme indiqué précédemment, il a été recommandé également de placer un enrobé de classe granulométrique 0/14 au-dessus de la géogrid pour éviter le soulèvement de celle-ci au passage des pneumatiques des camions alimentant le finisseur.

III.4 CONCLUSION SUR LA PREVENTION CONTRE LA FISSURATION :

Les méthodes décrites tout au long de ce chapitre permettent de réduire l'apparition de fissures en surface de chaussée. Une première catégorie permet d'éviter ou réduire la formation de fissures durant la phase de mise en œuvre de la structure et peut même permettre d'avoir des fissures moins actives. La seconde catégorie des méthodes consiste en l'utilisation d'un système d'interposition, c'est à dire un système combiné d'une couche de surface, d'un système d'interposition et d'une couche de mise à niveau, le tout reposant sur une structure après les réparations majeures. Il faut bien accentuer le fait ici que le succès de ces systèmes dépend autant de la performance de chacun des composants que de leur effet combiné. En fonction du système d'interposition, le fonctionnement peut être de trois natures :

- _ Renforcer la structure,
- _ Contrôler le décollement des couches, afin de permettre des déformations horizontales plus grandes,
- _ Protéger contre les agressions de l'eau.

La caractérisation des systèmes d'interpositions nécessite l'existence de tests de caractérisation aussi bien sur le système d'interposition lui-même que sur le combiné, c'est à dire comprenant également la couche de roulement. Les géotextiles non tissés se caractérisent par un module de rigidité faible (comparé au module de l'enrobé) et ne sont donc pas des produits de renforcement. Au contraire les géogrilles présentent un module élevé. Il faut bien prendre en compte dans l'évaluation du système d'interposition la forte dépendance du module de la couche de surface vis à vis de la température, mais également les variations qui proviennent de la fréquence de sollicitation et de la durée de vie de la structure pour comprendre qu'un système d'interposition donné, pourra renforcer la structure dans un cas particulier, mais être complètement inopérant dans une autre situation. Une autre donnée importante pour l'évaluation des caractéristiques du système d'interposition est sa susceptibilité à la température. Enfin, la capacité d'absorption du bitume pour un géotextile et la taille des grilles pour un géogrille par rapport à la taille maximale des granulats utilisés sont autant de paramètres qui entrent en jeu dans la qualité du système total.

Enfin, la bonne adhérence est nécessaire quelque soit le système d'interposition choisi pour avoir un fonctionnement normal lors de l'utilisation de la chaussée.

CHAPITRE IV

INTRODUCTION :

La remontée de fissure est un des problèmes majeurs auxquels ont à faire face les entreprises routières tant dans la conception de la chaussée que lors de sa réhabilitation (entretien et rechargement). Après plusieurs années de recherche, il apparaît évident que des solutions existent (amélioration tant du point de vue des matériaux que dans la compréhension des phénomènes) mais il est important de souligner que la réponse standard à ce problème général est loin d'avoir été trouvée...

La complexité du problème vient peut être aussi du fait que sous le terme générique de "remontée de fissures" un grand nombre de phénomènes est englobé ?

IV.1 PARAMETRES D'ENTREE POUR UNE MODELISATION

Chaque modèle nécessite l'entrée de divers paramètres concernant la structure routière, les caractéristiques mécaniques des matériaux composant la structure et les conditions de chargement.

Données environnementales et conditions de chargement :

L'évaluation des paramètres extérieurs qui est faite pour le cas étudié conditionne le choix du modèle retenu pour l'étude. une évaluation exhaustive des différentes causes possibles de fissuration est faite par [COL93]. Les conditions de chargement concernent les efforts qui vont favoriser l'initiation de la fissure ainsi que sa propagation ; il nous faut donc citer :

- le trafic,
- les variations de températures,
- les variations hydriques du sol,
- l'humidité.

Les changements de températures créent dans la couche de base et celle de roulement des contractions et dilatations qui génèrent des sollicitations de mode I (figure 20.b) ; c'est-à-dire d'ouverture de la fissure.

Les charges roulantes qui passent à l'aplomb d'une fissure existante, d'un joint ou d'une discontinuité quelconque dans la couche de base (et initiée dans la couche de surface) crée trois états de contraintes successifs en pointe de fissure : cisaillement – ouverture – cisaillement (figure IV.1 et figure IV.2).

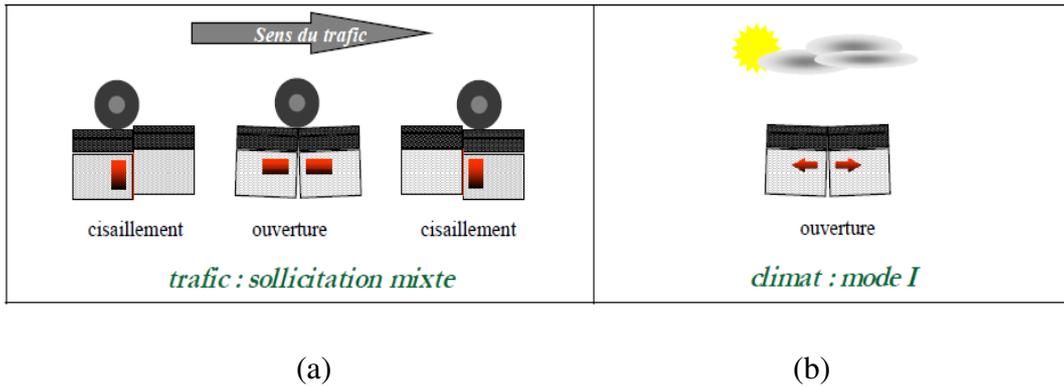


Figure IV.1: Cas de chargement d'une chaussée (a – cas des charges roulantes et b – cas des variations climatiques)

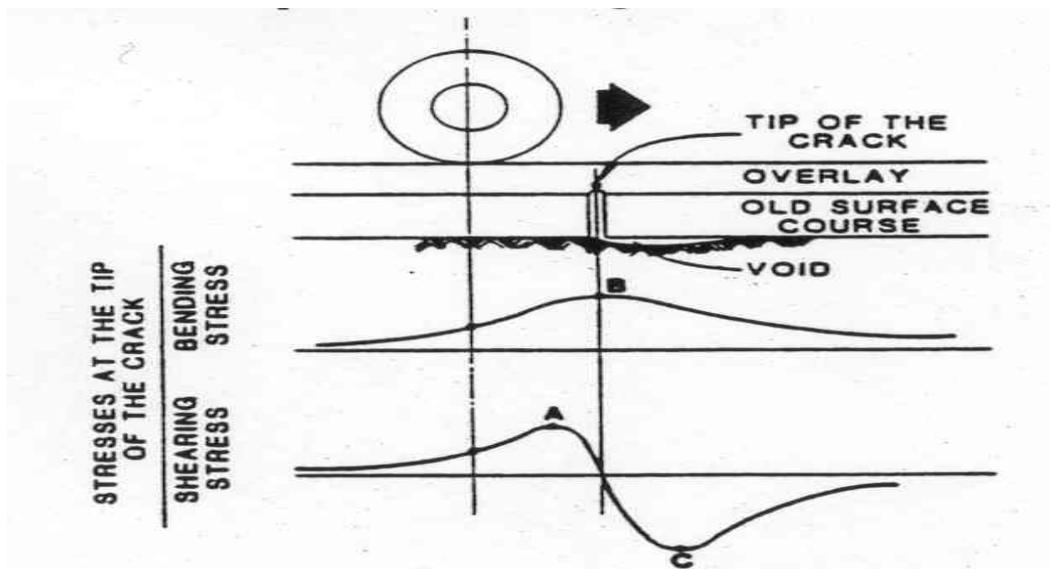


Figure IV.2 : Etats de contraintes induits par le passage d'une charge roulante en pointe de fissure [JAY87]

Dans la majorité des modèles existants, les différents cas de chargements sont traités séparément. La superposition des phénomènes est la dernière étape afin de donner une image finale de la réalité.

Caractéristiques de base de la couche de roulement :

Il importe bien sûr avant tout de connaître la structure de la chaussée :

- le type de structure de chaussée (rigide, semi-rigide ou souple) ;
- les différentes épaisseurs de couches ;
- le type de discontinuité existant dans le corps de chaussée ;

Les caractéristiques, concernant la couche de roulement, nécessaires à la modélisation sont :

- les caractéristiques mécanique et thermique des couches de béton bitumineux ainsi que les paramètres de fatigue ;

- les caractéristiques concernant la couche de collage (identification du bitume, module de cisaillement et susceptibilité thermique) ;
- la rigidité, la résistance et la déformation limite pour le système d'interposition utilisé.

IV.2 MODELES POUR LE DIMENSIONNEMENT :

Dimensionner une chaussée est en fait vérifier que la structure préalablement établie supportera le trafic subi. Pour ce faire, on calcule à l'aide d'un modèle mécanique les sollicitations les plus endommageantes Plusieurs classes de modèles servant à la conception et à la modélisation des chaussées peuvent être établies :

- modèles multicouches linéaires élastiques
- modèles multicouches étendus aux problèmes de fissuration
- modèles découlant des équations d'équilibres
- modèles empiriques
- modèles éléments finis

Analyse en éléments finis :

L'utilisation des éléments finis pour la conception de structures est devenue de plus en plus populaire ces dernières années. Le succès de cette méthode est en partie dû à l'augmentation des capacités de calcul des machines, qui ne limitent plus la dimension des structures modélisées. La modélisation par éléments finis peut même amener des réponses en propagation et initiation de fissure. La phase d'initiation est déterminée par l'identification de la déformation en traction en fond de couche et l'utilisation d'une loi de fatigue ; la phase de propagation au travers de la couche de roulement est déduite de l'état de contrainte en pointe de fissure et des principes de mécanique de la rupture.

IV.3 REMARQUES SUR LA MODELISATION, SES LIMITES :

Comme il l'a été souligné ci-dessus, il apparaît clairement de nos jours que les modélisations par éléments finis sont adoptées comme la référence pour connaître la relation "contrainte-déformation" dans les problèmes de remontées de fissure. Mais il faut rester vigilant, le problème est particulièrement complexe et la tendance est nécessairement à la simplification.

- Les limites de la modélisation en deux dimensions :

Comme l'a souligné Monismith [MON80] la solution idéale est de considérer le système routier en trois dimensions. Dans le cas de la prise en compte du trafic, l'hypothèse de déformation plane est admise, mais il faut garder à l'esprit que cet état ne correspond pas à la réalité et peut même dans certains cas conduire à des déductions erronées [FRA92].

- Conditions aux limites :

Les conditions de calcul imposent une limite dans l'espace, il importe de bien identifier chacune des conditions aux limites du problème car les solutions trouvées en seront fortement dépendantes.

- Propriétés mécaniques :

Des progrès doivent être faits afin d'améliorer la compréhension du comportement intrinsèque du matériau et surtout sa modélisation au travers de lois (non-linéarité, non-élastique et non-isotrope).

Néanmoins les modèles et les outils s'améliorent tous les jours et donc la connaissance de la remontée de fissure au travers de la couche de roulement s'en trouve également renforcée. Bien que des travaux intéressants soient menés, il faut regretter l'aspect trop particulier des résultats trouvés.

De plus, les études s'attachent peu à décrire la totalité du phénomène observé : de l'amorçage à la remontée de fissure en surface de chaussée. Enfin, quel que soit l'outil développé, il faut bien garder à l'esprit la validation de son résultat en "grandeur nature".

Exemple :

Présentation d'une modélisation par éléments finis de la remontée de fissure dans les chaussées sous trafic

1. Introduction :

Le rechargement de chaussée est une technique de réparation couramment utilisée lors des opérations de maintenance du réseau routier. Il consiste à mettre en place une nouvelle couche d'enrobé bitumineux après un traitement éventuel des fissures de l'ancienne couche de surface. Un nouvel élément est alors à prendre en compte en matière de dimensionnement : le critère de remontée de fissure au travers de la nouvelle couche de roulement. En effet, les sollicitations de trafic induisent des propagations de fissure, souvent au droit ou au voisinage des discontinuités antérieures, en mode mixte d'ouverture et de cisaillement. La plupart des études actuelles se limitent au mode d'ouverture et négligent les effets du cisaillement.

Cette hypothèse, valide pour les structures souples, devient plus discutable dans le cas des structures semi-rigides et des structures bitumeuses épaisses, pour lesquelles une propagation en mode I seul ne suffit plus pour décrire l'ensemble du phénomène de remontée de fissure à travers la couche supérieure.

De nombreux essais de laboratoire ont été développés afin de simuler les conditions de la remontée de fissure et de qualifier l'efficacité des éventuels systèmes anti-remontée de fissure mais seuls certains permettent une réelle mixité du mode de chargement: on citera par exemple l'essai Mefisto, (Wendling, 1997) et l'essai sur l'éprouvette dite ETS (Ecole de Technologie Supérieure, Université du Québec) (Guissi, 2005). Par ailleurs, le laboratoire 3MsGC a développé un essai de fissuration par fatigue en cisaillement alterné (Essai DST : Double Shear Test), applicable au matériau enrobé seul (Petit, 2002). Les résultats obtenus ont conduit à une proposition de modélisation du comportement de l'enrobé au droit des fissures basée sur une dégradation d'un cordon résistant, et permettant la description des phases d'amorçage et de propagation. En considérant la localisation de l'endommagement sur une bande de faible épaisseur, on peut alors associer le comportement du cordon à celui d'un joint (sans épaisseur) sollicité en cisaillement et intégrer le modèle dans une procédure de calcul éléments finis afin de prévoir les temps de remontée de fissure en mode de cisaillement.

L'objectif du travail présenté ici est d'étudier la faisabilité de l'intégration du modèle dans les simulations éléments finis d'essais de structures. Les essais sont l'essai ETS et l'essai DST pour lesquels quelques résultats expérimentaux sont disponibles.

2. Modélisation de la fatigue par cisaillement localisée sur une bande :

Les observations issues de l'analyse des essais de type DST amènent à une modélisation du comportement au droit de la zone critique par endommagement du cordon résistant. L'évolution du dommage permet la description de l'essai en phase d'amorçage et de propagation (Petit, 2002). En considérant la localisation de l'endommagement sur une bande de faible épaisseur, on peut alors associer le comportement du cordon à celui d'un joint, sans épaisseur, sollicité en cisaillement (figure IV.3).

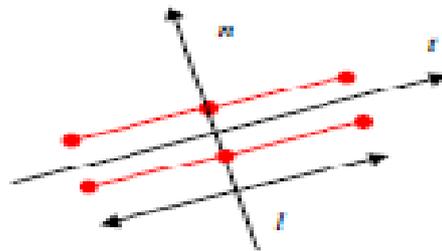


Figure IV.3: Élément joint à 6 nœuds (Modèle 2D).

Pour l'élément joint, le champ de déplacement W est défini par les deux composantes u et v telles que :

$$W = \begin{Bmatrix} u \\ v \end{Bmatrix}$$

u et v sont les déplacements relatifs respectivement suivant le vecteur \vec{t} et le vecteur \vec{n}

Il n'existe pas de couplage entre le cisaillement et les efforts normaux, ainsi :

$$\begin{Bmatrix} \tau \\ \sigma \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_s & 0 \\ 0 & k_n \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u \\ v \end{Bmatrix}$$

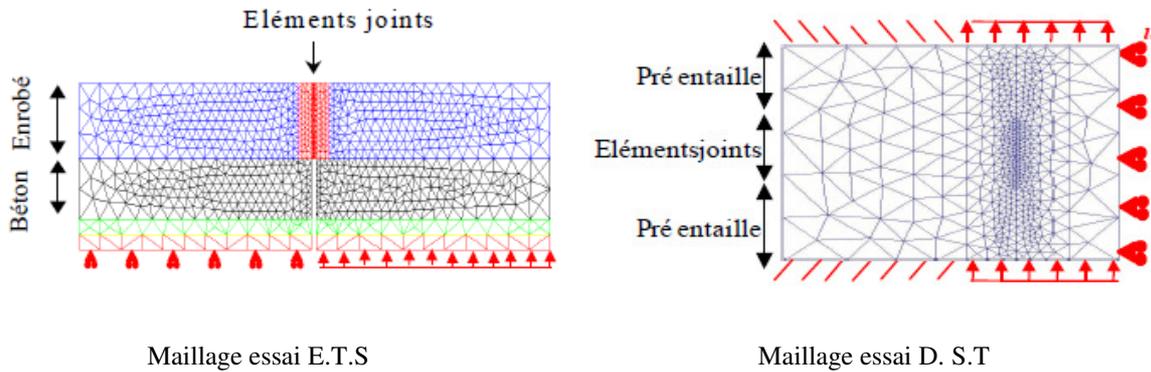
k_n et k_s sont respectivement la raideur normale et de cisaillement.

La loi de dommage issue des travaux de (Petit, 2002) appliquée aux éléments joints est :

- K_0 : est la raideur initiale du matériau sain (non endommagé) ;
- k_s : sa raideur à l'instant t considéré ;
- α : est un paramètre du modèle et sera fonction du niveau de cisaillement ;
- E_{tot} : est l'énergie de déformation totale cumulée par unité de surface.

Les essais de fatigue par cisaillement alterné ont montré, comme dans le cas des essais de fatigue en traction-compression ou en flexion (De la Roche 1996, Di Benedetto, 1997) qu'aux premiers cycles de chargement, la raideur du cordon résistant chute rapidement puis la variation devient quasi linéaire. Nous avons donc pris en compte cette chute brusque en début d'essai en introduisant une raideur de cisaillement k_{si} en deçà de laquelle l'endommagement est une fonction linéaire de l'énergie totale cumulée par unité de surface. Le modèle considère l'apparition d'une macro-fissuration pour un seuil de dommage donné D_c .

Le corps d'épreuve et les conditions aux limites ont été modélisés sous CAST3M (Figures IV.3 et IV.4) en deux dimensions avec une hypothèse de déformation plane. Le comportement des matériaux est de type élastique linéaire isotrope avec, compte tenu des propriétés viscoélastiques des matériaux bitumineux, prise en compte pour l'enrobé d'un module élastique et d'une raideur de cisaillement équivalents (Huet 1963) (déduts des courbes maîtresses à la température et à la fréquence de l'essai et/ou des résultats expérimentaux obtenus).



(Figure IV.4)

3. Etude paramétrique : critères de convergence

L'essai sélectionné pour cette analyse est l'essai de fatigue par cisaillement E.T.S utilisé pour étudier la remontée de fissure dans les systèmes de rechargement. Il est constitué de deux plateaux horizontaux supportant le corps d'épreuve, l'un mobile dans le plan horizontal et l'autre mobile dans le plan vertical (figure 4). Le mouvement vertical sert à simuler l'action du passage des véhicules au droit des fissures, et le mouvement horizontal à simuler les effets thermiques. Pour cette étude seuls les essais sous sollicitations verticales alternées reproduisant le mode II ont été retenus.

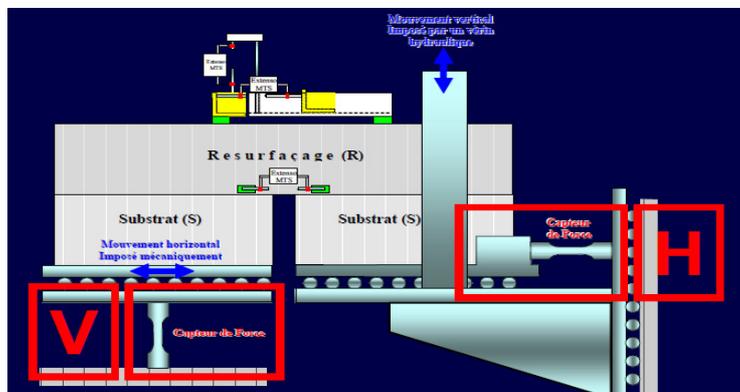


Figure IV.5: Essai ETS (Guissi, 2005)

Cette analyse paramétrique a été menée en deux étapes afin d'analyser les critères de convergence nécessaires:

- une discrétisation spatiale pour déterminer la taille des éléments finis joints ou encore le nombre d'éléments constituant le cordon résistant Figure IV.6.
- une discrétisation temporelle pour déterminer le nombre des incréments du pas de calcul Figure IV. 7

Les propriétés mécaniques des matériaux constituant le corps d'épreuve pour l'essai E.T.S sont résumées dans le tableau suivant :

matériau	E(Mpa)	ν
enrobé bitumineux	5900	0,35
béton	39000	0,3
acier	21000	0,3

L'influence de la raideur initiale de cisaillement K_0 du cordon résistant a été étudiée.

Pour les calculs présentés elle est fixée à 130 MPa/mm, valeur issue des résultats expérimentaux de (Laveissiere, 2002). Le seuil de dommage pris en compte pour le passage entre endommagement et macro-fissuration est conventionnellement fixé à une réduction de 50% de la raideur initiale (Doan, 1977). La sollicitation appliquée correspond à un déplacement imposé vertical de 0,020 mm (Figure 2), appliqué sur l'un des plateaux mobiles dans la direction verticale (Guissi, 2005). Ce modèle considère une chute initiale de la raideur de cisaillement de 10% aux premiers cycles puis l'endommagement est une fonction linéaire de l'énergie totale cumulée par unité de surface.

L'éprouvette est modélisée avec un cordon résistant constitué de N éléments joints de dimensions identiques. Au seuil de dommage considéré, la raideur du joint est annulée et l'élément joint devient une fissure.

La sollicitation appliquée au bas de l'éprouvette provoque une concentration des contraintes en pointe de fissure. Lors du calcul, la fissure se propage alors du bas vers le haut.

Le nombre de cycles à la rupture de l'éprouvette dépend fortement de la taille des éléments joints Figure IV.6. Plus le nombre d'éléments augmente (leur taille diminue), plus le nombre de cycles à la rupture diminue, jusqu'au nombre $n_{min} = 20$ éléments à partir duquel le nombre de cycles à la rupture est quasi constant. Ceci nous permet de conclure que le critère de convergence est vérifié si la taille des éléments joints ne dépasse pas 5% de la hauteur du cordon.

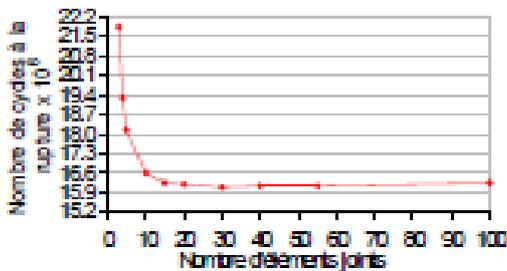


Figure IV.6. Influence de la discrétisation spatiale

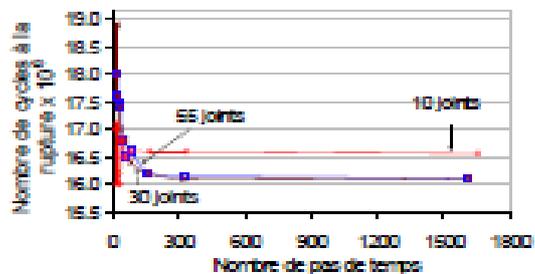


Figure IV.7. Influence de la discrétisation temporelle

Figure IV. 7 nous montre l'influence du pas de temps sur le nombre de cycles à la rupture. Plus le nombre de pas de temps augmente, plus le nombre de cycles à la rupture diminue. De la même manière on peut dire que la convergence est atteinte à partir de 300 pas de temps (vérification effectuée pour des éléments de joints dont la taille ne dépasse pas 5% de la hauteur du cordon).

Des essais sont actuellement en cours à l'Ecole de Technologie Supérieure de Montréal. Une validation est nécessaire à la réception des résultats.

4. Vers une validation expérimentale :

Pour la validation, nous avons comparé les résultats du modèle avec ceux de l'essai de cisaillement cyclique alterné sur éprouvette entaillée, de type CS (Compact Shearing) modifié. Le dispositif expérimental est celui du laboratoire de Génie Civil d'Egletons (figure 8). Les appuis latéraux sont encastrés et la partie centrale est maintenue dans un bâti rigide solidaire de l'axe mobile de la machine d'essai électromécanique. La symétrie du corps d'éprouvette induit le choix d'une sollicitation de cisaillement symétrique alterné.

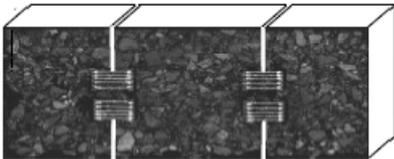


Figure IV. 8. Géométrie de l'éprouvette

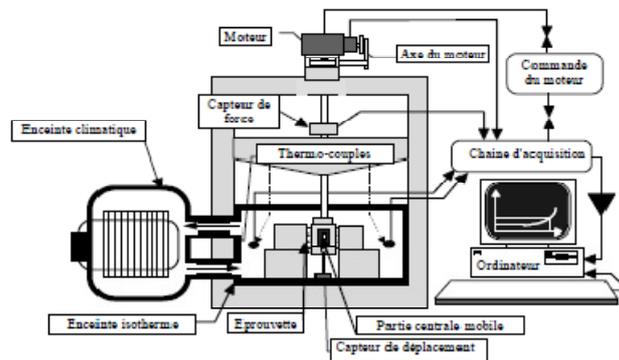


Figure IV.9. Schéma de principe du dispositif expérimental

Les critères de convergence précédemment validés ont été vérifiés sur l'éprouvette utilisée pour cet essai.

La comparaison des résultats a été effectuée avec les résultats sur deux éprouvettes soumises à un niveau de contrainte moyenne de cisaillement dans le cordon de 1,25 MPa. L'endommagement intervient rapidement dans les premiers joints de part et d'autre de l'éprouvette. S'en suit une redistribution de ces contraintes de cisaillement sur toute la hauteur du cordon à travers chacun des éléments joints. La fissuration se propage des deux bords pour finir en partie centrale par rupture successive et symétrique des joints.

Les résultats obtenus à partir de notre modèle concernent notamment la durée de la phase d'amorçage et la modélisation de la propagation. Comme le montre la Figure 9, les résultats numériques obtenus pour ces paramètres sont proches des observations expérimentales.

La réponse mécanique (force) est représentée Figure 10. Pendant l'amorçage, les amplitudes des efforts diminuent faiblement à mesure que l'endommagement progresse. A partir de 150000 cycles l'effort chute nettement au fur et à mesure de la propagation de fissure. Les efforts calculés avec le modèle sont en adéquation avec les mesures.

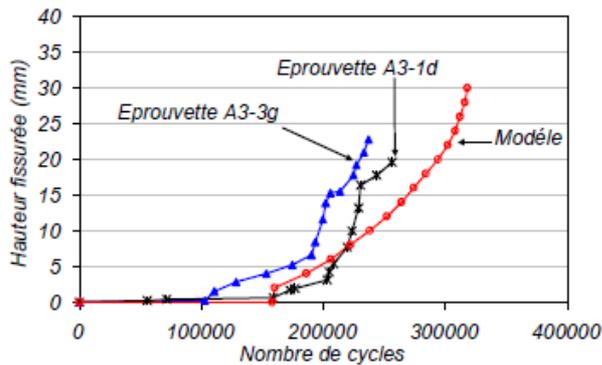


Figure IV. 10. Evolution de la hauteur fissurée

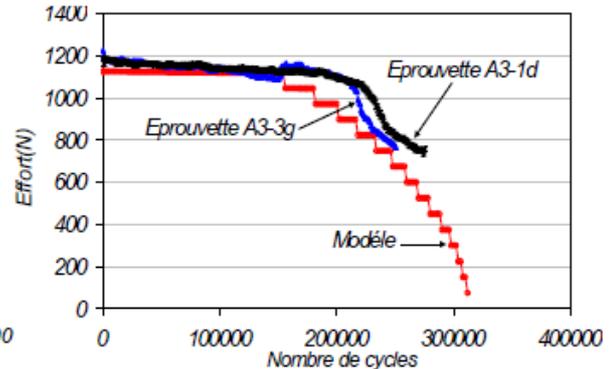


Figure IV.11. Evolution de la force verticale

5. Conclusion :

La modélisation proposée du comportement d'un enrobé au droit des fissures est basée sur une dégradation d'ensemble d'un cordon résistant. L'outil numérique présenté, est issu d'une approche simplifiée permettant le calcul opérationnel de la durée de vie d'un rechargement de chaussée. L'analyse paramétrique nous a permis de déterminer les critères de convergence nécessaires que sont la taille des éléments joints et le nombre des incréments du pas de calcul. Les résultats des simulations numériques sont satisfaisants en termes de description des phases d'amorçage et de propagation de fissure. Ils permettent également de retrouver les évolutions des grandeurs mesurées pendant l'essai.

CONCLUSION GENERAL

La majorité des chaussées aéroportuaires implantées dans le sud de l'Algérie, connu pour ses conditions climatiques extrêmes (très chaudes en été, très froides en hiver) souffre d'un phénomène de fissuration généralisée liée, en combinaison avec les sollicitations dynamiques et la remontée des anciennes fissures, aux contraintes de retrait thermique et à l'éclatement de l'enrobé sous forme de dalles.

Pour le renforcement des chaussées de l'aérodrome, nous avons pu découvrir l'utilité d'introduire des produits géosynthétiques dans le renforcement des structures bitumineuses et l'influence importante des conditions de mise en œuvre du produit sur le résultat. En effet, la qualité et la quantité de la couche d'accrochage exercent une influence non négligeable sur le niveau du collage à l'interface et nous savons que des couches d'enrobé mal collées influenceront négativement sur le bon comportement mécanique du bloc bitumineux.

Après cette identification sur les fissures soit les causes ou l'origine ou bien les propagations d'une fissure dans la structure de chaussée souple (phénomène de remonté de fissure), et les essais et les tests qui sont fait sur la couche bitumineux par une simulation en laboratoire et l'application des technique d'interposition (système anti-remonté de fissure) in situ, avec le développement durable des procédées de construction.

Nous sommes souhaités que ce modeste travail pose une initiation sur le sujet de problème des fissures dans les routes ou bien les pistes.

BIBLIOGRAPHIE

BELKACEM BENTAHAR : SUIVI ET CONTRÔLE QUALITÉ DU PRODUIT GÉOGRILLE SUR L'AÉRODROME DE DJANET, ALGÉRIE (2009).

CATALOGUE DES DEGRADATIONS : ÉTAT DE LA SURFACE DES CHAUSSÉES AÉRONAUTIQUES (Avril 2007).

DELPHINE LAVEISSIERE : MODELISATION DE LA REMONTEE DE FISSURE EN FATIGUE DANS LES STRUCTURES ROUTIERES PAR ENDOMMAGEMENT ET MACRO-FISSURATION (2002).

DENIS ST-LAURENT: CHAUSSEES SOUPLES A DUREE DE VIE PROLONGEE.(mars 2006).

F. BOUHAS, C. PETIT, A. MILLIEN : MODELISATION PAR ELEMENTS FINIS DE LA REMONTEE DE FISSURE DANS LES CHAUSSEES SOUS TRAFIC (mai 2007).

GEOSYNTHETICS FOR PAVEMENT SOLUTIONS: PAVEMENT MAINTENANCE WITH TENCATE (ASPHAL REINFORCEMENT).

HOAI NAM NGUYEN : ETUDE NUMERIQUE DE LA FISSURATION D'UN MILIEU VISCO-ELASTIQUE : ANALYSE DE L'ESSAI DE RUPTURE SUR BITUME (2008)

MATHIEU MEUNIER ET DANIEL PERRATON LA REMONTEE DES FISSURES DANS LES SYSTEMES DE RESURFACAGE UNE NOUVELLE METHODE D'ESSAIS EN LABORATOIRE (2005).

NOTE D'INFORMATION LIMITES ET INTERETS DU COLMATAGE DES FISSURES DE RETRAIT DE CHAUSSEES SEME-RIGIDE

QUANG DAT TRAN: MODELE SIMPLIFIE POUR LES CHAUSSEES FISSUREES MULTICOUCHES (2004).

POLYFELT IN AIRPORT CONSTRUCTION (2004).

PH. TAMAGHY ET L.WENDLING : MEFISTO : MOYEN D'ESSAIS DE RESISTANCE A LA FISSURATION EN FATIGUE SOUS CISAILLEMENT (τ) (JANVIER 2009).

PY FLORIAN : ETUDE DE LA SENSIBILITE DU MODULE DES ENROBES A MODULE ELEVE, INFLUENCE DE LA TENEUR EN LIANT, DE LA COMPACTITE ET DU POURCENTAGE D'AGREGATS D'ENROBE DU MATERIAU (Juin 2010).

PROJET DE FIN D'ETUDS : ÉTUDE DE RENFORCEMENT DE L'AÉRODROME D'ILLIZI AVEC LES NOUVELLES TECHNOLOGIES.

PROJET DE FIN D'ETUDES : ETUDE DE RENFORCEMENT DES AIRES DE MANŒUVRES DE L'AERODROME D'OUARGLA.

ROXANA BALBA : ÉVALUATION EN LABORATOIRE DES DIFFÉRENTS SYSTÈMES ANTI-REMONTÉS DE FISSURES POUR LE RESURFAÇAGE DES CHAUSSÉES SOUPLES (2006).

CAHIERS DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIÈRES C.C.T.P. VOIRIES (JANVIER 2012).

TECHNIQUES ANTI-REMONTÉES DES FISSURES : GUIDE D'EMPLOI EN CHAUSSEES AERONAUTIQUES (AVRIL 1999).

TENCATE BIDIM PGM&PGM-G : ANTI-FISSURATION POUR LA PERENITE DES CHAUSSEES (SEPTEMBER 2008).

RECHERCHE ET DEVLOPPEMENT DURABLE : LE RENFORCEMENT DES ENROBES PAR DES GRILLES.

EUROVIA : SABLE ENROBÉ ANTI-REMONTÉE DE FISSURES.