

Chapitre 1

Recherches Bibliographiques

I.1.Introduction

Ce premier chapitre est principalement consacré à l'étude bibliographique de l'interface des couches de roulements en matériaux bitumineux dans les structures de chaussée dans les ponts Routiers.

La chaussée est une structure composite réalisée par empilement de couches de matériaux.

Aujourd'hui, la communauté « routière » s'accorde sur l'importance de réaliser des équipements assurant la sécurité et le confort de la circulation :

- La couche de roulement
- La dalle de transition
- Les trottoirs
- Système d'évacuation des eaux
- Les perrés sous ouvrages
- Joints de chaussée.

Pour la couche de roulement un bon collage à l'interface des couches de chaussée, et cela, afin d'assurer l'intégrité de la structure de chaussée pendant toute sa durée de vie, mais aussi, après des travaux de renforcement.

Cependant, on observe sur certaines structures des phénomènes de décollement en plaques de la couche de roulement, et ce malgré la mise en œuvre d'une couche d'accrochage à l'interface. Ces pathologies de dégradation sont fréquemment rencontrées sur des sections de chaussées fortement sollicitées en cisaillement (zones de freinage-accélération, giratoire, rampes, etc.), dans le cas de structures particulières telles que les taxiways des aéroports, ou encore dans le cas de structures de chaussée comportant une couche de roulement de faible épaisseur. Ainsi, dans ces types de structures, la tenue à la fatigue du Collage à l'interface semble être prédominante sur la tenue à la fatigue des couches de matériaux. Il convient alors d'évaluer la durabilité du collage pour mieux dimensionner la structure de chaussée.

A l'heure actuelle (2011), malgré le rôle majeur de l'interface vis-à-vis de la durabilité, les informations sur la **non régularité des chaussées** ne sont pas prises en compte lors du dimensionnement de la structure(les ponts routiers).

I.2. Fonctionnement de l'interface des couches des chaussées

Pour la plupart des types de structures utilisés dans le domaine routier, leur succès est essentiellement lié à l'hypothèse qu'un bon collage est assuré à l'interface de certaines couches de matériaux. A titre d'exemple, pour une chaussée bitumineuse épaisse, la réalisation en plusieurs couches implique le collage à chaque interface. De même, pour les chaussées à structures composites, leur succès est conditionné par le collage entre la couche

de béton de ciment et la couche bitumineuse. En effet, d'un point de vue fonctionnement mécanique de la chaussée, l'état de l'interface conditionne la répartition des contraintes et des déformations dans chaque couche de la structure (Figure I.1). Tant que les différentes couches de matériaux restent collées entre elles, la structure de chaussée se comporte comme un bloc monolithique et, par rapport à une structure à couches décollées, la rigidité globale est augmentée et les sollicitations (contraintes, déformations) au sein des matériaux sont réduites. Lors du dimensionnement de la chaussée, les épaisseurs des couches (et par conséquent le coût de la chaussée) dépendent, en partie, de la rigidité de la structure.

En Algérie, l'observation du comportement en service de plusieurs structures de chaussée a permis de définir des états d'interface sur la base des couches de matériaux en contact. De ce fait, vis-à-vis du dimensionnement des structures de chaussée, de manière conventionnelle, l'état de l'interface est considéré parfaitement collé, glissant (décollé) ou semi-collé [1].

Une interprétation des méthodes américaine (AASHTO) et anglaise (DMRB) montre qu'une hypothèse d'un collage parfait à l'interface des couches de matériaux bitumineux est admise lors du dimensionnement. Il faut cependant noter que dans la plupart de ces méthodes de dimensionnement, en particulier dans la méthode française qui est appliquée en Algérie, la pérennité du collage à l'interface n'est pas abordée.

La structure étudiée (PF3/GNT/GB3/BBSG) (Figure I. 1) est issue de la fiche N°26 du catalogue des structures types de chaussées neuves [1]. Les résultats de l'étude montrent que si dans la réalité (réalisation de la chaussée) l'interface BBSG/GB3 est décollée alors qu'elle était considérée comme parfaitement collée lors du dimensionnement de la chaussée, la répartition des valeurs de **non régularité** horizontale sur les faces des couches de chaussée est différente de celle prévue lors du dimensionnement. En particulier, la couche de BBSG n'est plus sollicitée qu'en compression, mais également en traction au niveau de sa face inférieure (Figure I. 1). Cette sollicitation en traction réduit la tenue à la fatigue de la couche de roulement, favorise l'apparition des fissures de fatigue, et affecte les fonctions de la couche de roulement. Le diagramme de répartition des valeurs de déformation horizontal montre que la face inférieure de la couche de GB3 est fortement sollicitée en traction. Ceci conduit à une durée de vie de la chaussée divisée par quatre environ.

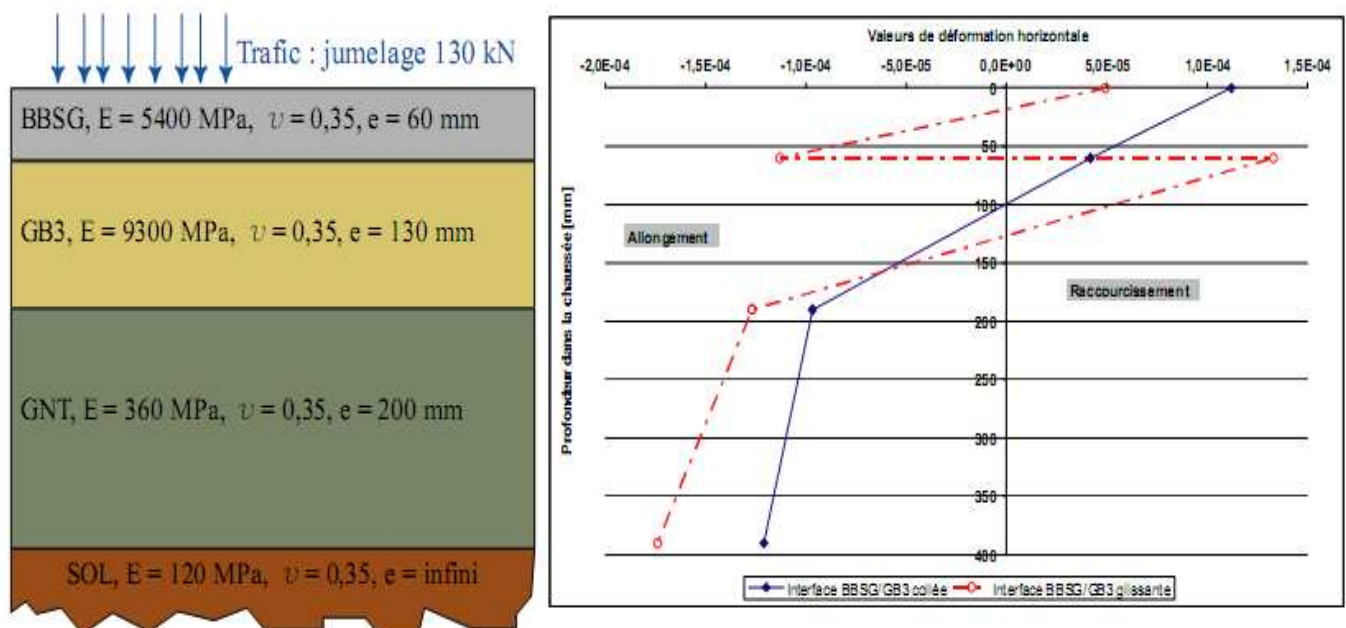


Fig. 1. 1 : Effet de l'état de l'interface sur la distribution des valeurs de déformation horizontale

I.3.Dégradation des Couches de roulements pathologies et causes

I.3.1 Dégradation de la couche de roulement de pont routier de Mina en Algérie (défaut après la mise en service) :



Des fissurations au dessous du tablier
Fig. 1. 2 Dégradation du pont de Mina Wilaya de Relizane)



Fig. 1. 3 dégradations en forme *de* nid-de-poule (la chaussée de pont de Mina Wilaya de Relizane)



Fig. 1. 4 fissurations longitudinales de la couche de roulement (la chaussée de pont de Mina Wilaya de Relizane)

De nombreux désordres ont été constatés sur cet ouvrage principalement fissuration du béton. Ces dégradations ont été observées sur Le tablier de pont.



Fig. 1. 5 dégradation du au mauvais collage entre le béton de joint et la couche de roulement
(la chaussée de pont de Mina Wilaya de Relizane)

On remarque dans la photo ci- dessus un blocage du joint c.-à-d. on n'a pas une évacuation des eaux qui engendre des pathologies graves dans les ouvrages.



Fig. I. 6 L'interaction véhicule et couche de roulement non régulière (la chaussée de pont de Mina Wilaya de Relizane)

1.3.1.1 Les Remèdes

On propose des entretiens des équipements qui assurant la durabilité et le bon fonctionnement de la structure :

- L'étanchéité
- Les appareils d'appui
- Les jointes de chaussée
- Les perrés de protection des talus

Les désordres observés sur cet équipement sont souvent révélateurs d'autres désordres plus important affectant la structure .ceci concoure à ce que les équipements fassent l'objet d'une surveillance particulière ,d'un entretien spécifique voire d'un remplacement pur et simple et ces opérations doivent être fréquentes .

Les taches proposées de l'entretien accompagnant chacun des équipements sont :

1- les trottoirs et la chaussée :

- la reprise des couches de roulements endommagées.
- la reprise des dalles endommagées.
- surveillance et entretien du complexe étanchéité sous trottoir.
- débouchage des gargouilles découlement du caniveau sous trottoirs.

2- Système d'évacuation des eaux :

- nettoyage du fil d'eau s'il est encrassé.
- recharger les flaches :point de stagnation d'eau sur le tablier.
- augmenter le diamètre des gargouilles par forage s'il est constate une insuffisante de diamètre.

3- joints de chaussée :

- veiller a une bonne évacuation des eaux.
- nettoyage pour éviter le blocage du joint.
- vérifier le système de fixation (ex : serrage boulon de fixation)
- assurer le collage entre le béton de fixation de joint et la couche de roulement.

4- les appareils d'appui :

- graissage des appareils d'appui (métallique –mobile)
- remplacement des appareils d'appuis défectueux.

5 – dalles de transition :

- reprise des cavernes dues aux tassements sous les dalles de transitions.
- nettoyage des descentes d'eau sur remblais.

I.3. 2 Dégradation d'une couche de roulement (défaut avant la mise en service):

En novembre 1986, le Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA) faisait paraître une note d'information relative au décollement des couches de revêtement de chaussées [2]. D'après cette note d'information, depuis les années 1970, l'auscultation de certaines chaussées dont la surface se dégradait prématurément, mettait en évidence des défauts de liaison notamment entre la couche de roulement et la couche de base. Ces défauts de liaison se traduisent par un décollement de la couche de roulement. Le document précise également que ce type de dégradation touchait plus de 5% du réseau linéaire soumis à l'entretien préventif mais conduisait à des travaux d'entretien lourds et onéreux (recyclage, tapis d'enrobés épais, renforcements) deux à cinq fois plus chers que l'entretien normal d'une structure à couches correctement collées [2].

Lorsqu'un défaut de collage se présente à l'interface, particulièrement à la dernière interface entre la couche de roulement et sa couche sous-jacente, un phénomène de glissement à l'interface peut apparaître à court ou long terme. Visuellement, c'est par la nature des dégradations en surface de la couche de roulement des chaussées récentes et surtout leur vitesse d'évolution que l'on peut appréhender le phénomène [2], (Figure I. 2). La note d'information publiée par le SETRA en novembre 1986 [2] montre un exemple de chaussée où le phénomène de décollement. Dans l'exemple présenté, des fissures anarchiques apparaissent en surface de la couche de roulement, se ramifient très rapidement pour engendrer un faïençage généralisé, et ce, malgré un niveau de déflexion qui reste généralement raisonnable.



Fig I. 6'. Exemple de dégradation due à un défaut de collage à l'interface [3]

La **non régularité** en surface de chaussée qui peuvent être imputées à un défaut de collage à l'interface sont généralement observées sur des portions de chaussée où la composante horizontale des sollicitations dues au trafic est très élevée (zones de freinage-accélération, virages, pentes, parkings, etc.) [4]. Ces dégradations en surface sont également constatées, spécialement après des périodes de gel/dégel, sur certaines structures de chaussée à couches de roulement mince (épaisseur 25 mm) voire ultra mince (BBUM, épaisseur 15 mm). Les bétons bitumineux minces (épaisseur 30 à 50 mm) ont été imaginés dans les années 1970 comme solution d'entretien de chaussées dont l'état structurel ne nécessitait pas un renforcement mais auxquelles il fallait redonner des caractéristiques de surface suffisantes. Il faut noter que dans ces cas de de chaussée, l'interface entre la couche de roulement et sa couche sous-jacente est fortement sollicitée en cisaillement du fait de sa position peu profonde.

Les résultats de certaines observations in situ [2], [5], [6], ont permis de lister une série de paramètres ou de conditions d'exécution pouvant affecter le niveau de collage à l'interface et conduire ainsi à un décollement en plaque de la couche de roulement :

- absence de couche d'accrochage au niveau de l'interface, ou au niveau des bandes de Roulement;
- pollution de l'interface par de la poussière ou par une autre forme d'impuretés ;
- mise en œuvre de la couche d'accrochage suivie d'une forte pluie ;
- dosage excessif en couche d'accrochage qui conduit à la formation d'un plan de glissement
- compactage insuffisant de la couche de fondation conduisant, au moment de la mise en œuvre

Des bitumineuses, à un décollement de leurs interfaces. Ce phénomène est dû à la combinaison d'une forte contrainte de cisaillement à l'interface et d'une rigidité insuffisante du support ;

- manque de compacité du grave bitume en surface dû à une ségrégation des granulats.

I.4.Réparation d'une route en vue de la circulation de poids lourds

I.4.1 Antécédents

La route d'accès à une carrière disposant d'une centrale à béton prêt à l'emploi présentait de graves détériorations telles que par exemple de profonds nid-de-poule que l'on avait provisoirement réparés avec du béton et différents matériaux, ainsi que des microfissurations. Ces dégradations posaient de gros problèmes aux camions qui y circulaient.

Une analyse des bordereaux de pesage montra que l'on transporte sur cette route un poids net avoisinant les 800.000 tonnes de matériaux de construction par an. Ceci correspond à environ 40.000 camions par an à pleine charge. Une réfection était devenue inévitable, mais le temps dont on disposait pour effectuer les travaux de réfection était très limité en raison du volume élevé du trafic et de la production continuelle dans la carrière et dans la centrale de fabrication du béton.

I.4.2 Inspection du chantier

Avant de commencer des analyses détaillées, on a examiné la route sur place. En outre, on a rassemblé toutes les informations disponibles sur cette route et on en a tenu compte lors de la décision relative à une réfection éventuelle.



Fig. 1. 7. à État de la route endommagée.



Fig. .1. 7.b De graves détériorations de la couche bitumineuse sont le signe d'une couche de grave bitume instable.

Dans la première moitié du parcours, on a constaté des fissures considérables dans le revêtement bitumineux (voir Figure I. 7).

Dans des autres zones, on a constaté des déformations telles que par exemple une abrasion et des ornières. L'état de la chaussée était très hétérogène car la deuxième section en particulier était responsable de la plus grande partie des détériorations.

Les petites fissures existant dans la couche de base et de roulement étant attribuées à une fatigue du bitume [7].

I.4.3 Constat de la structure de la chaussée

L'étape suivante consistait à exécuter des examens détaillés. Ils comprenaient une expertise minutieuse du chantier ainsi que le fraisage de puits de reconnaissance, des essais dynamiques de pénétration au cône (essais DCP). Sur la base de ces résultats, on élaborera ensuite un programme détaillé d'essais de laboratoire. À l'aide des granulats provenant des puits de reconnaissance, on exécuta des analyses granulométriques, des essais Proctor (rapport humidité/densité) et des essais destinés à la détermination de la teneur optimale en liant.

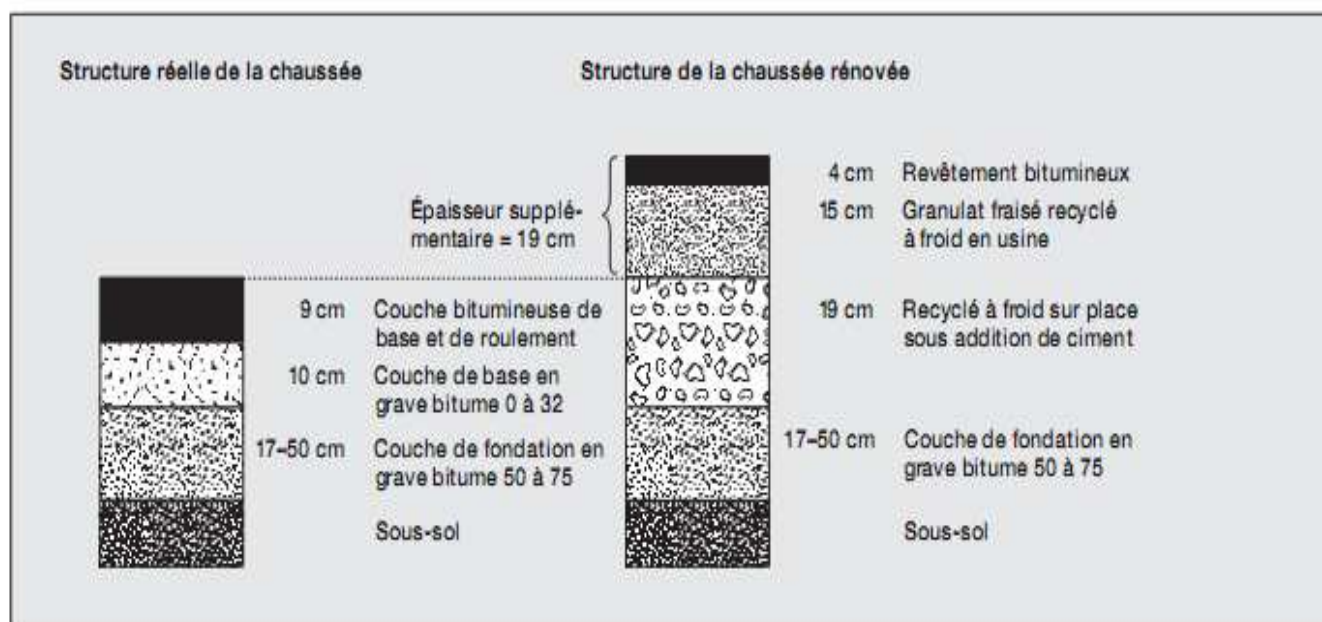


Fig. 1. 8: Structure réelle de la chaussée et structure de la chaussée rénovée.

1.4.4 Réfection

On a représenté dans la Figure I. 4 la structure choisie pour la réfection de la chaussée. La raison du choix d'une autre structure neuve réside principalement dans le fait que c'était surtout la couche de base en grave bitume non lié de 10 cm d'épaisseur se trouvant sous les couches bitumineuses qui était instable.

En raison des mauvaises conditions de drainage, de l'eau avait pénétré dans cette couche de base en grave bitume à travers des fissures présentes dans les couches bitumineuses. La circulation produisit un effet de pompage qui transporte l'eau avec les particules fines de la couche de base en grave bitume vers la surface. De plus, il est apparu des dommages dus au gel et à l'eau qui avait pénétré. On décida de recycler la couche bitumineuse existante ainsi que la couche de base en grave bitume se trouvant au-dessous, sur toute la longueur de la route. On augmenta ainsi la portance de la chaussée et réduisit son hétérogénéité. Grâce à la résistance plus élevée obtenue au moyen de cette couche, on a pu renoncer à une couche de grave bitume non lié (couche antigel). La structure de la chaussée et le remplissage des bas côtés ont ainsi nécessité moins de matériaux, ce qui a conduit à des économies de coûts notables.

Les essais de laboratoire ont clairement montré qu'on devait stabiliser la couche de grave bitume existante non pas avec de la chaux, mais avec du ciment en raison de sa plasticité de toute évidence minime [7].



Fig1. 9: La route après clôture des travaux de réfection.

La couche de base mélangée à froid et la couche de roulement bitumineuse furent mises en place par un finisseur de bitume Vögele Super 1800 équipé d'une table de compactage performante.

Afin de ne pas gêner l'accès à la carrière, il fallait également planifier minutieusement le déroulement chronologique de la mesure de réfection. C'est pourquoi on décida d'effectuer le recyclage de la couche de fondation au moyen de ciment un samedi. Dans la semaine qui suivit, la route d'accès est restée ouverte au trafic. Au cours du Week-end suivant, on a posé la couche de base en enrobé à froid et la couche de roulement bitumineuse [7].

I.5. Conclusion

D'après les études qui étaient faites, et analysées par notre synthèse bibliographique on a remarqué que les chercheurs dans ce domaine. Lors du dimensionnement, ne pas tenir compte des effets dynamiques dus à la non-régularité de la couche de roulement au niveau des ouvrages, qui se traduit par des effets de vibrations parasites au moment et après le passage des surcharges roulantes, or nous considérons que ces effets jouent un très grand rôle dans le comportement et l'amplification dynamique d'un tablier d'un pont routier.

Et autre problème concernant la méthode de traitement de l'interface entre couches de chaussée (interface considérée comme parfaitement collée, glissante, semi-collée, etc.) a une forte incidence sur la répartition des contraintes et des déformations (**la non-régularité**) dans la structure de chaussée, et donc, sur les durées de vie prévisionnelles des couches de matériaux mises en œuvre.

Sur certaines chaussées, on peut se poser la question pourquoi de l'apparition de désordres structuraux pouvant être liés à des défauts de construction, et ce malgré l'interposition d'une couche d'accrochage entre les couches d'enrobés.

Notre étude repose sur le développement d'un outil de calcul qui permettrait d'estimer la quantité des désordres liées a la **non régularité** des chaussée sur les structures porteuses et d'établir des consignes aux ingénieurs ou techniciens de nos bureaux d'études et de réalisation pour éviter toutes dégradation de l'ouvrage et d'augmente sa durée de vie .

Chapitre 2

Les Caractéristiques statiques des chaussées

2.1 Introduction

Les structures routières, 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 non Régularité 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 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 du non régularité afin de lutter efficacement contre la remontée de problème.

2.2 / Différents Types De Structures De Chaussées

Une des fonctions premières de la chaussée est de diminuer les contraintes induites par le trafic au niveau du l'élément support. Ce dernier, serait en effet incapable de supporter seul les contraintes induites par le passage répété de charges roulantes (fig.2. 1).[8]

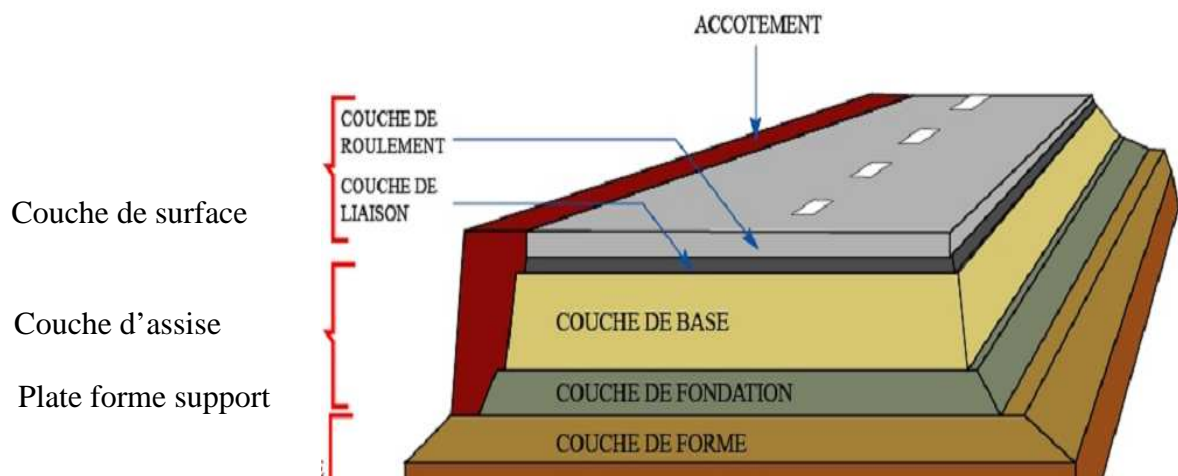


Fig. .2.1 : Répartition des contraintes dans une structure de chaussée
Les parties fondamentales d'une structure de chaussée sont :

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 l'élément support.

Couche de forme : elle permet de rectifier les hétérogénéités de la couche de l'élément support.

En fonction des matériaux utilisés dans la structure, les chaussées les plus couramment utilisées se classent en trois catégories parfaitement distinctes.

2.2.1. Structures semi-rigides :

Les couches d'assise (base et fondation) des structures semi-rigides se composent de matériaux traités aux liants hydrauliques, avec un dosage plus faible en ciment que pour un béton (inférieur à 6%) donc une résistance et un module élastique plus faibles également. En règle générale, aucun joint de dilatation n'est prévu. La couche de surface qui recouvre l'ensemble voit son épaisseur fortement conditionnée par le trafic auquel sera soumise la structure. Ce type de chaussée est utilisé pour des routes à fort ou moyen trafic.

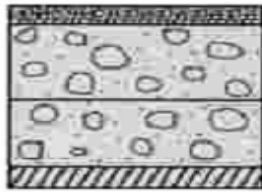


Fig.2.2 Structures semi rigides

2.2.2. Structures souples

Les structures souples sont composées de matériaux bitumineux. Les épaisseurs de ces structures sont dimensionnées en fonction du volume de trafic sur une période donnée ; elles peuvent donc atteindre de fortes épaisseurs pour des trafics importants. Dans le cas de chaussée peu circulée, la couche de surface peut se résumer à un simple revêtement.

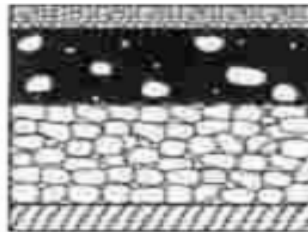


Fig.2.3 Structures souple

2.3 Principes de dimensionnement des structures de chaussée

Sous l'effet des sollicitations externes (environnementales, conditions de chargements, etc.), les structures de chaussées sont soumises à des phénomènes complexes (mécaniques, thermiques, physiques et chimiques) qui apparaissent souvent de manière couplée.

Devant la complexité des problèmes observés, les méthodes de dimensionnement développées sont basées sur des règles empiriques tirées de l'observation du comportement en service des structures de chaussée ou de sections expérimentales. Ces méthodes présentent des limites qui sont d'autant plus visibles que de nouveaux types de structures et des matériaux plus performants se développent et que le trafic est en constante augmentation. Un développement de méthodes de dimensionnement plus rationnelles apparaît donc nécessaire.

Cette nécessité a conduit au développement et à l'application dès les années 1970 de la méthode rationnelle française [1] et, plus récemment, le développement, aux Etats-Unis dans le cadre du programme SHRP (Strategic Highway Research Program 1988-1993, poursuivi après 1996), de la méthode « Superpave » et la mise en place du guide de dimensionnement AASHTO 2002 [9]. On présente ci-après les concepts des méthodes de dimensionnement des structures de chaussées adoptées en France, aux Etats-Unis et au Royaume-Uni.

Les principales sollicitations auxquelles sont soumises les structures routières sont liées aux contraintes imposées par le passage des véhicules et aux effets engendrés par les variations de température.

2.3.1. La méthode française de dimensionnement [LCPC – SETRA]

Les fondements de la méthode française de dimensionnement des chaussées ont été dégagés dès le début des années 1970. Dans la démarche adoptée, la détermination des épaisseurs des différentes couches de chaussée ainsi que leurs caractéristiques mécaniques des matériaux relève, soit d'une approche expérimentale empirique, soit de calculs de vérification (méthode rationnelle). Par opposition aux modèles empiriques, ces méthodes rationnelles font appel à l'utilisation combinée de modèles mécaniques et de données expérimentales. C'est par le biais de modèles de calculs qu'est vérifié le dimensionnement de la structure vis-à-vis des critères de durabilité [1].

D'un point de vue mécanique, la démarche de la méthode française de dimensionnement qui est appliquée en Algérie peut être scindée en deux étapes. Dans une première étape, il convient de calculer, sous l'effet de l'essieu standard de référence de 130 kN (Tableau 2.1), la réponse d'une structure de chaussée choisie à priori (type de structure, matériaux et épaisseurs des couches constitutives). Ce calcul repose sur l'évaluation, sous l'effet d'une charge circulaire appliquée à la surface d'un massif multicouche, les champs de contraintes maximales dans les couches de matériaux et de sol. Dans ce calcul, la charge appliquée symbolise l'action de l'essieu de référence, et le modèle semi-analytique de Burmister,

développé aux Etats-Unis à partir de 1943 [10] est utilisé pour obtenir la réponse mécanique.

Dans ce modèle de Burmister, l'interface entre deux couches de matériaux peut être modélisée comme parfaitement collée (aucun déplacement tangentiel relatif entre ces couches n'est admis) ou glissante (les déplacements tangentiels relatifs entre ces couches ne sont pas empêchés). Dans une seconde étape, il s'agit de calculer les valeurs de sollicitations admissibles des matériaux de la structure, en fonction de leur localisation dans la structure, de leurs modes de dégradation (rupture par fatigue des couches en matériaux liés et orniérage du sol et des couches en matériaux non liés), et du trafic cumulé (nombre de poids lourds) devant circuler sur la chaussée pendant sa durée de vie sur une plate-forme donnée (Tableau 2.1). La structure convient si les sollicitations induites par le passage de l'essieu de référence restent inférieures ou égales aux sollicitations admissibles pour

Chaque couche (Tableau 2.2). Le choix de la structure finale se fait par calculs itératifs.

Le calcul des valeurs admissibles s'appuie sur le comportement en fatigue des matériaux liés, traduisant la rupture d'une éprouvette en laboratoire pour l'application d'un grand

Nombre de cycles de sollicitations, et sur le caractère plastique des matériaux non liés, expliquant l'apparition de déformation permanente [1].

2.3.2. La méthode américaine de dimensionnement [AASHTO]

Tableau 2.1 : Méthodes de dimensionnement : types d'essieu standard et performance du support

Méthode	Française LCPC/SETRA	Américaine AASHTO	Anglaise DMRB	Hollandaise	Shell SPDM	Européenne 95/53/CE
Trafic : essieu standard	Essieu simple a roues jumelées de 130 kN	Essieu simple a roues jumelées de 18 Kip(82 kN)	Essieu simple a roues jumelées de 80 Kn	Essieu simple a roues jumelées de 100 Kn	Essieu simple a roues jumelées de 80 kN	Essieu simple a roues jumelées de 110 kN
Performance de la plate-forme	3 niveaux : PF2(50 MPa) PF3(120 MPa) PF4(200 MPa)	Valeur du module élastique entre 1 et 40 kpsi (7-276 MPa)	CBR _{min} =15%	3 niveaux : 50 MPa 100 MPa Ou 150 MPa	Non disponible	Non disponible

Tableau 2-2 : Méthodes de dimensionnement : performance mécanique des couches de chaussée

Méthode	Française LCPC/SETRA	Américaine AASHTO	Anglaise DMRB	Hollandaise	Shell SPDM	Européenne 95/53/CE
Française LCPC/SETRA	<p>Rupture par fatigue des matériaux liés :</p> $\epsilon_t \leq \epsilon_E(\theta_{sq}, f) \cdot \left(\frac{NE}{10^6}\right)^b \cdot k_r \cdot k_s \cdot k_c$ <p>Détermination permanente des couches en matériaux non liés :</p> $\epsilon_z \leq A \cdot (NE)^{-0.222}$			<p>ϵ_z : déformation horizontale a la base de la couche :</p> <p>$\epsilon_E(\theta_{sq}, f)$: déformation a appliquer pour provoquer une rupture du matériau a 10^6 cycles :</p> <p>NE: Nombre équivalent d'essieux standard,</p> <p>k_i: coefficients de risque de calcul et de calage,</p> <p>A : égale a 0.016 pour les faibles trafics et 0.012 dans le cas contraire.</p>		
Américaine AASHTO	$\log_{10}(w_{18}) = Z_R \cdot S_0 + 9.36 \cdot \log_{10}(SN + 1) - 0.20$ $+ \frac{\log\left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \cdot \log_{10}(M_r) - 8.07$			<p>w_{18} : Nombre équivalent d'essieux standard,</p> <p>$Z_R \cdot S_0$:facteur de fiabilité</p> <p>SN : nombre structurel ;</p> <p>M_r : module élastique de la plate- forme ;</p> <p>ΔPSI : variation de l'indice de qualité de la route.</p>		

2.4 Sollicitations dans la chaussée

Les principales sollicitations externes imposées sur les enrobés bitumineux sont les chargements mécaniques dus aux trafics et les sollicitations climatiques. Sous ces sollicitations, des phénomènes complexes, couplant mécanique, thermique, physique et chimie se produisent.

2.4.1 Effet du trafic

L'effet du trafic est issu du passage des véhicules qui imposent un chargement sur la surface de la chaussée sous forme de chargements surfaciques répétés. Les amplitudes de chargement sont faibles, produisant des déformations de l'ordre de 10^{-3} . Le calcul des efforts et des déformations, effectuée par un modèle multicouche élastique linéaire isotrope, donne une bonne approximation des modes de fonctionnement de chaque couche suivant sa position en profondeur dans la structure (figure 2.4).

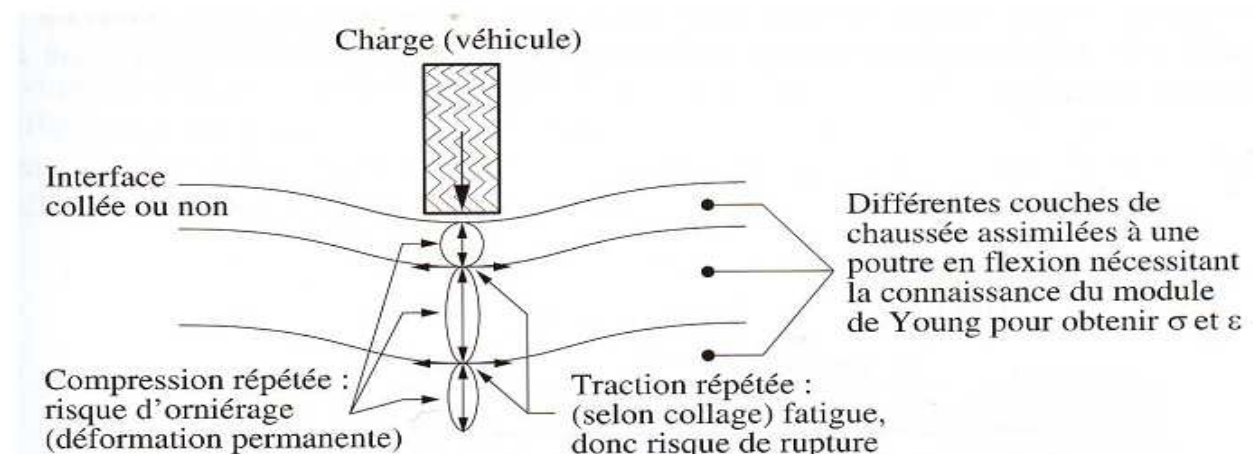


Fig.2. 4. Sollicitations induites par le trafic [13]

Sous les sollicitations cycliques du trafic, la base des couches structurales subit une traction répétée qui peut créer des micro dégradations et entraîner la ruine des couches. Ce phénomène de fatigue peut entraîner des fissures au travers de la chaussée. Dans le même temps, la partie supérieure de chaque couche est soumise aux efforts de compression répétée qui peuvent entraîner des déformations permanentes induisant un orniérage à la surface de la chaussée.

2.4 2 Effet de la température

Outre les chargements mécaniques, les chaussées subissent des chargements consécutifs aux variations de la température. Ces variations thermiques entraînent des changements de la rigidité du mélange : à température basse le mélange bitumineux est rigide et fragile tandis qu'à haute température la rigidité du mélange chute et que sa ductilité augmente.

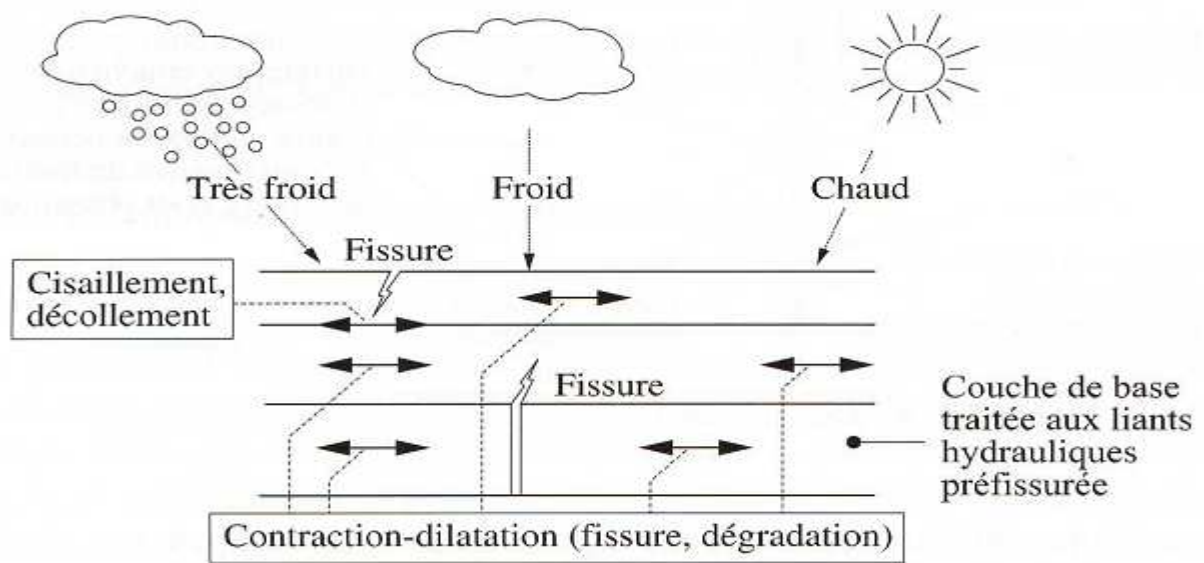


Fig.2. 5 Sollicitations induites par la température [13]

D'autre part, le changement de température peut entraîner des contraintes et des déformations au sein des matériaux en raison des contractions-dilatations thermiques (Fig.2.5). Ce phénomène est particulièrement important : il peut provoquer des fissures dues aux cycles thermiques à basses températures ou des dégradations aux interfaces entre des couches.

2.5. Différents Formes De dégradation Dans Les Chaussées

2.5.1. Origines des fissures

2.5.1.a. Fatigue

Le cumul du trafic sur la chaussée conduit, au-delà d'une limite, à l'apparition de fissures. Cette fatigue peut affecter toutes les couches de la structure ou seulement être limitée à la couche de surface.

2.5.1. 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 retraits élémentaires [1] :

- Les retraits primaires qui comprennent les retraits 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 retraits thermiques associés aux variations de températures journalières mais aussi annuelles.

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.

2.5.1.c. Mouvements du L'élément support

Les mouvements ou une perte de portance locale du L'élément support sur lequel la structure repose, peuvent aussi mener à une fissuration, qui va se propager dans les différentes couches de la structure.

2.5.1.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.

2.5.1.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'hiver, alors que le béton bitumineux est devenu plus fragile. Ces effets sont accentués avec l'âge de la chaussée du fait de l'exposition de béton bitumineux aux effets environnementaux.

2.5.2 Formes et chemin 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.

1.5.2. 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.

1.5.2.b. Forme

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

1.5.2.c Aspect

Les fissures peuvent apparaître comme une seule fissure franche dans la chaussée, ou alors se dédoubler voire se ramifier (figure 2.7).

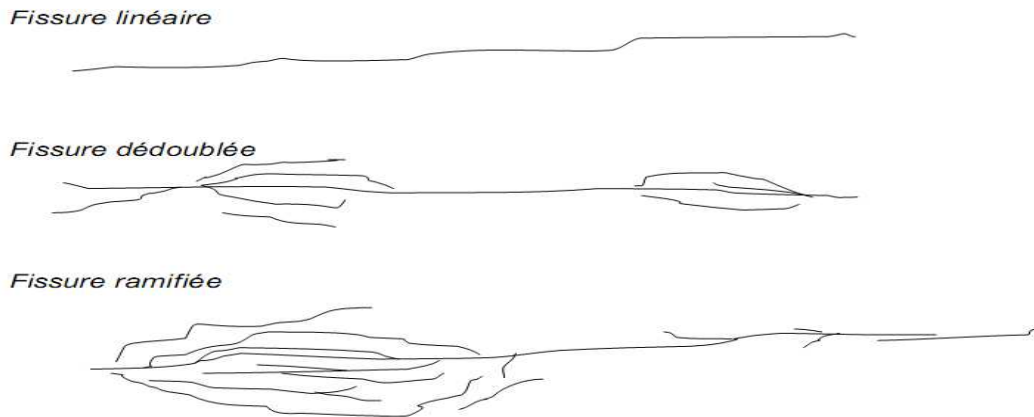


Fig. 2. 6 Différents aspects de la fissuration

2.5.2.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).

2.5.2. e. Chemin de fissuration

Les fissures peuvent être isolées et non connectées ou au contraire fabriquer un maillage plus ou moins dense (fig. 2.7).

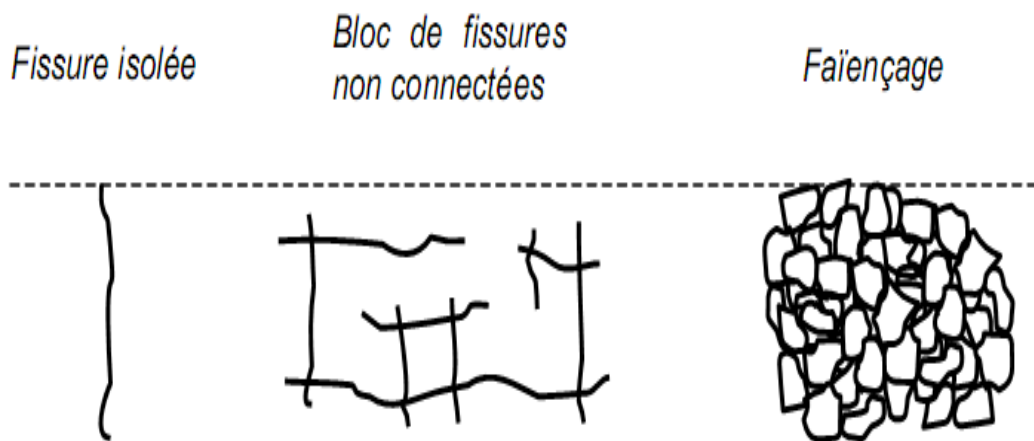


Fig. 2. 7 – Différents chemins de fissuration (vue de haut de la chaussée)

2.6. Différents Pathologies Pour Différents Structures de Chaussées

2.6.1. Fissures affectant toutes les structures

Une perte de portance du L'élément support va conduire à des ruptures en dalle ou des fissures simples longitudinales et transversales.

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.

2.6.2. Fissures spécifiques selon la structure

2.6.2.a. Structures rigides

Ces constructions présentent des joints, dans la couche de base, qui s'apparentent à des fissures. Ces joints, longitudinaux et transversaux, sont larges en surface mais du fait du procédé de construction, ils sont collés. Néanmoins, sous l'action du trafic et des actions thermiques, ils peuvent perdre de leur capacité de transfert de charge d'une dalle à l'autre. Si les joints ne sont pas réalisés à temps, il peut aussi y avoir des problèmes de retrait, liés à la prise du béton. Dans ce cas des fissures rectilignes vont apparaître avec un pas quasi constant de plusieurs mètres. Si la couche de béton n'est pas assez épaisse pour supporter le trafic, les dalles peuvent aussi se fissurer (longitudinalement et transversalement, mais aussi aux coins) sous le passage répété des fortes charges roulantes.

2.6.2.b. Structures semi-rigides

Les structures semi-rigides ne possèdent pas de joint de dilatation (au contraire des structures rigides) dans les couches d'assises traitées aux liants hydrauliques. (Toutefois, au dernier catalogue des structures 98, cette disposition a un peu évolué et il devient nécessaire de pré-fissurer la couche de base avec l'emploi de certaines graves ciment (plus riche en ciment) ou au-delà de certains trafics).

De ce fait, la couche de base est soumise à une fissuration transversale inévitable due au retrait. Les fissures naissent dans la couche traitée pour remonter ensuite vers la surface. Les fissures apparaissent avec des pas compris entre 5 et 20 m, et leur ouverture est fonction de la température mais peut atteindre dans certains cas défavorables plusieurs millimètres. Les fissures de retrait sont transversales rectilignes mais au cours du temps, sous l'action du trafic, elles se ramifient. Le pas de fissuration observé en surface est très dépendant des caractéristiques de résistance en traction et du module d'Young de la couche traitée, mais le processus général reste l'apparition de grandes dalles qui peu à peu se subdivisent en plus petites.

2.6.2.c. Structures souples

En plus des fissures de surface décrites plus haut, 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. Dans les pays aux climats hivernaux rigoureux (ou

Des pays avec de fortes amplitudes thermiques), 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.

2.6.3 Orniérage des chaussées bitumineuses

Phénoménologie de l'orniérage

L'orniérage désigne de façon générale les phénomènes de déformations permanentes du profil transversal des chaussées, qui apparaissent et croissent sous les sollicitations du trafic.

Les déformations du profil transversal des chaussées bitumineuses peuvent provenir des tassements des couches structurales de matériaux non liés et/ou des déformations des couches de béton bitumineux se trouvant proche de la surface. Le tassement des couches de base s'observe principalement sur les chaussées souples et se traduit généralement par des ornières à "grand rayon", parfois appelé "orniérage structural". Les déformations des couches de surface en béton bitumineux se produisent plutôt sur les chaussées épaisses et apparaissent sous forme d'ornières à "petit rayon" de la largeur de la bande de roulement, accompagnées par des bourrelets latéraux.

Dans le cadre de ces travaux, on s'intéresse à l'orniérage à petit rayon" provoqué par le comportement irréversible des couches des matériaux bitumineux.

L'orniérage des couches bitumineuses représente, aux côtés de l'endommagement et de la fissuration par fatigue, l'un des principaux modes de dégradation potentiels des chaussées, car il entraîne des problèmes de sécurité et de confort au roulement (risques d'aquaplanage notamment).

En cas de problème d'orniérage avéré, les solutions d'entretien par rechargement et reprofilage s'avèrent souvent insuffisantes à long terme [14].

Pour bien clarifier les différents aspects du problème, il est indispensable d'étudier les aspects de contrainte et de déformation sous sollicitations de trafic, qui illustrent les variations des états de contrainte au passage d'une charge roulante et la complexité du problème.

2.6.4. Remontée 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.

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

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

Traffic : Les véhicules, et plus particulièrement les essieux de camions, 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&nuit et entre les saisons été&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.

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.

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.

2.7 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.

Comme nous l'avons exposé au cours de ce paragraphe, les natures des Pathologie qui cause la non régularité observées en surface de chaussées sont diverses, ceci est en partie dû à la grande variété des origines de fissuration. De plus les pathologies observées sont fortement dépendantes du type de la structure.

Notre étude se limitera plus particulièrement aux structures semi-rigides et souple, mais aussi à la nature de Dégradation la plus défavorable, et la plus 'classique' dans ce type de structure : les remontées de fissures transversales 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, fig2. 1).