
Étudier l'évolution de la macrotexture de chaussée par une méthode fine

M. Ech* – S. Morel*** – S.Yotte* – D. Breysse* – B. Pouteau****

*Centre de Développement des Géosciences Appliquées, Université Bordeaux 1, avenue des facultés, domaine universitaire, 33405 Talence cedex

m.ech@cdga.u-bordeaux1.fr, s.yotte@cdga.u-bordeaux1.fr, d.breysse@cdga.u-bordeaux1.fr

** Centre de Recherche de Mérignac, EUROVIA, 22, rue Thierry Sabine, BP 20067, F-33703 Mérignac

mech@eurovia.com, bpouteau@eurovia.com

*** Laboratoire de Rhéologie du Bois de Bordeaux, UMR 5103, CNRS – INRA – Université Bordeaux I, 69, route d'Arcachon, 33612 Cestas Cedex.

morel@lrbb3.pierroton.inra.fr

RÉSUMÉ : L'adhérence d'une chaussée est conditionnée par sa texture. Cet article propose une procédure expérimentale permettant d'évaluer en laboratoire la durabilité de la macrotexture d'une éprouvette en béton bitumineux. La surface de l'éprouvette est modifiée par l'application des sollicitations mécaniques à température élevée. L'évaluation de l'évolution de la macrotexture se fait en réalisant une cartographie laser de la surface étudiée avant et après sollicitation mécanique. L'analyse des cartes de texture se fait en se basant sur la courbe d'Abbott appelée aussi courbe de taux de longueur portante. Une analyse similaire en 3D permet de définir la courbe de taux de surface portante. Cet article décrit la méthode utilisée et présente quelques résultats expérimentaux montrant l'évolution des paramètres de la courbe de taux de surface portante en fonction du nombre de cycles et de la température.

ABSTRACT: Road skid resistance is conditioned by the pavement texture. This paper presents an experimental procedure that allows evaluating the durability of an asphalt concrete specimen in laboratory. The specimen surface is modified through the application of a sinusoidal repeated load at high temperature. The studied surface is scanned before and after mechanical solicitation using a laser measuring system. Texture maps are analysed using Abbott curve which is called also bearing ratio curve. 3D analysis is realised. This paper describes the used method and presents some experimental results showing the evolution of the 3D bearing ratio curve parameters with temperature and repetition load number.

MOTS CLÉS : chaussée, durabilité, macrotexture, cartographie, Abbott

KEYWORDS: road, durability, macrotexture, mapping, indicators, Abbott

1. Introduction

Sur les chaussées, un des facteurs garantissant la sécurité des usagers est l'adhérence pneu-chaussée (Gothié, 1993), (Gothié, 2000). Cette caractéristique constitue un élément principal de la sécurité routière. Cette adhérence est conditionnée par les différentes échelles de texture de chaussée (mégastructure, macrotexture et microtexture) (Delanne, 1993). Pour maintenir un bon niveau d'adhérence et en se plaçant du côté de la chaussée, il est nécessaire que cette dernière conserve sa texture dans le temps. Dans cet article, nous présentons une étude de l'évolution de la macrotexture de chaussée. La macrotexture correspond aux irrégularités de surface dont la gamme de dimensions se situe horizontalement entre 0,5 et 50 mm et verticalement entre 0,2 et 10 mm (Ech, 2006).

Le trafic combiné à l'effet des conditions environnementales conduit à la dégradation de la texture de couche de roulement dans le temps. L'étude présentée vise à simuler en laboratoire l'évolution de la macrotexture d'une chaussée à température élevée.

La procédure expérimentale développée comprend un essai mécanique qui modifie la texture de la face supérieure d'une éprouvette cylindrique en béton bitumineux. Le suivi de la macrotexture de l'éprouvette se fait en utilisant la cartographie laser. L'intérêt de la cartographie laser par rapport aux méthodes classiques utilisées dans le domaine routier (par exemple, la PMT (profondeur moyenne de la texture) anciennement appelée hauteur au sable) réside dans le fait que cette méthode permet le relevé topographique « réel » de la surface étudiée permettant ainsi de l'analyser finement. Cette analyse peut se faire en utilisant différentes méthodes statistiques et géostatistiques (Ech, 2006).

Ce travail propose d'analyser la macrotexture de l'enrobé en utilisant la courbe de taux de longueur portante (appelée aussi courbe d'Abbott). Par analogie à la méthode normalisée (ISO 13565-2) qui est une méthode basée sur une analyse profilométrique, nous proposons une analyse similaire en 3D en traçant une courbe qu'on va appeler « courbe de taux de surface portante ». L'étude de l'évolution de la macrotexture se fait en comparant les courbes de taux de surface portante de l'éprouvette correspondant à ses différents états (état initial et après 800, 20000, 100000 cycles de sollicitation mécanique). Le calcul et la comparaison des différents paramètres associés à la courbe d'Abbott permettent de quantifier cette évolution.

Dans cet article nous décrivons la procédure expérimentale développée. Nous expliquons la méthode d'analyse de texture utilisée (courbe de taux de surface portante) et les paramètres qui y sont associés. Finalement, nous montrons quelques exemples de résultats expérimentaux obtenus.

2. Procédure expérimentale

2.1. Corps d'épreuves et saisie des données

Les éprouvettes utilisées sont des cylindres de 15 cm de diamètre et de 4 cm d'épaisseur carottés dans des plaques de béton bitumineux (400 mm x 600 mm, 40 mm d'épaisseur). Une seule formule de béton bitumineux a été testée.

La station de mesure 2D/3D sans contact par balayage laser comprend un capteur laser (gamme de mesure 18mm, résolution verticale : 2 μm , résolution latérale : 25 μm), une table de déplacement XY 120 x 120 mm² (précision de positionnement X/Y : 2 μm), un système de pilotage et d'acquisition de données et une caméra vidéo pour visualiser la zone de mesure.

Le suivi de l'évolution de la texture se fait sur une zone centrale carrée de 60 x 60 mm². Le pas d'échantillonnage choisi est de 100 μm

2.2. Modification de la texture de surface à l'aide d'un essai mécanique

L'essai mécanique permet de modifier la texture de la face supérieure de l'éprouvette en appliquant un effort vertical sinusoïdal (pour simuler le trafic routier). La charge est transmise à l'éprouvette par l'intermédiaire d'un patin caoutchouteux (simulant le pneu). L'amplitude de la charge sinusoïdale cyclique appliquée est de 0,6 MPa. Cette amplitude correspond à l'effort appliqué par le pneu d'un véhicule poids lourd sur la surface de chaussée (en France). Pendant l'essai l'éprouvette est placée dans un moule métallique assurant son confinement. Les essais visent à simuler l'évolution de la macrotexture de chaussée à température élevée. Deux températures ont été choisies : 35 °C et 60 °C.

3. Traitement et analyse des résultats

La première étape du traitement de données consiste à corriger par interpolation linéaire les erreurs de mesures (correction en 2D). Ces erreurs peuvent être dues au dépassement du domaine de mesure, à des problèmes de réflexion du rayon laser ou à la présence des impuretés sur la surface mesurée.

Pour s'affranchir de l'inclinaison moyenne de la surface, les cartes de texture sont redressées en 3D en utilisant la méthode des moindres carrées multiple.

Ensuite une analyse détaillée est faite en calculant pour chacune des surfaces mesurées des indicateurs de rugosité qui sont définis et présentés dans (Ech, 2006). Cet article propose une méthode d'analyse basée sur la courbe d'Abbott.

3.1. Courbe d'Abbott

3.1.1. Définition et contexte

La courbe d'Abbott ou courbe de taux de surface portante est une méthode utilisée pour faciliter l'évaluation du comportement fonctionnel des surfaces soumises à de fortes sollicitations mécaniques. La courbe d'Abbott décrit l'augmentation du taux de longueur portante en fonction de l'augmentation de la profondeur du profil. Autrement dit, elle donne pour chaque niveau d'altitude le pourcentage de matière traversée par une ligne parallèle à la ligne de référence du profil et située à cette altitude.

La norme ISO 13565-2 utilise la courbe d'Abbott pour déterminer des paramètres caractérisant le comportement fonctionnel des pièces métalliques soumises à de fortes contraintes mécaniques. La méthode normalisée a pour objet la prévision de l'usure d'une pièce métallique suivant trois critères : le critère de rodage, le critère de fonctionnement et le critère de lubrification. Un paramètre est associé à chacun de ces critères. Ces paramètres sont désignés par R_{pk} , R_k et R_{vk} respectivement.

Le critère de rodage correspond aux pics les plus saillants qui vont être usés et disparaître pendant les premières heures de fonctionnement de la pièce. Moins ce critère est important, plus le temps de rodage sera limité.

Le critère de fonctionnement représente la quantité de matière disponible à l'usure pendant le fonctionnement de la pièce. La durée de vie d'un moteur est conditionnée par la disponibilité de cette quantité de matière.

Le critère de lubrification détermine les creux disponibles. Ces creux sont utiles pour retenir un lubrifiant nécessaire pour maintenir le bon fonctionnement et éviter les pertes énergétiques et le grippage sur un moteur.

Dans cette étude, nous proposons d'utiliser la courbe d'Abbott pour analyser la macrotexture de l'enrobé et d'appliquer la notion de trois critères présentés ci-dessus. Dans ce contexte, R_{pk} correspondrait aux pics saillants de l'enrobé qui vont pénétrer dans le pneu et dont une partie sera arrachée ou polie, R_k à la principale surface de travail entre la chaussée et le pneu et R_{vk} à la capacité de chaussée à évacuer ou stocker de l'eau. Ce raisonnement pourrait ouvrir la voie pour l'étude des corrélations entre l'adhérence et la texture. Dans cet article nous nous limitons à présenter les méthodes de calcul des paramètres de la courbe d'Abbott et à étudier l'évolution de ces paramètres avec la sollicitation mécanique.

3.1.2. Construction de la courbe de taux de longueur portante

La figure 1 est une illustration d'une courbe d'Abbott pour un profil. Nous constatons par exemple que la longueur d'intersection entre la surface située au dessous du profil et une ligne parallèle à la ligne de référence (ici ligne moyenne)

qui la traverse à une altitude de -1,2 mm constitue 95% de la longueur totale du profil.

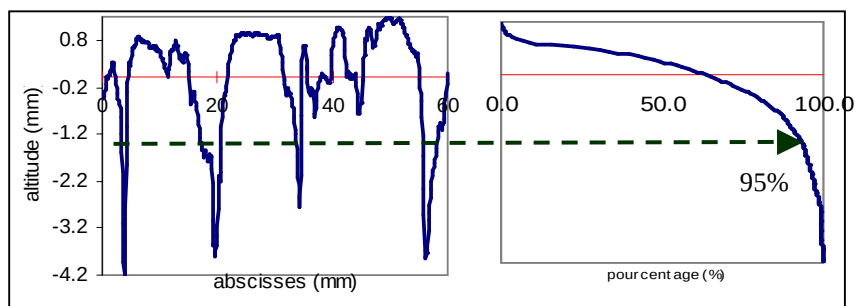


Figure 1. Courbe d'Abbott ou courbe de taux de longueur portante

3.1.3. Définition et construction de la courbe de taux de surface portante

Par analogie à la méthode normalisée (ISO 13565-2) qui est une méthode basée sur une analyse profilométrique, nous proposons une analyse similaire en 3D et nous traçons une courbe qu'on va appeler « courbe de taux de surface portante ». Cette courbe donne pour chaque niveau d'altitude le pourcentage de matière traversé par un plan parallèle au plan de référence et se situant à ce niveau d'altitude. La figure 2 est un exemple d'une courbe de taux de surface portante. L'exemple montre l'évolution de la surface de contact (S_c) avec l'altitude. Les points $H = 800 \mu\text{m}$ et $H = -10900 \mu\text{m}$ sur les courbes de taux de surface portante présentées correspondent respectivement au point le plus haut et au point le plus bas de la surface étudiée.

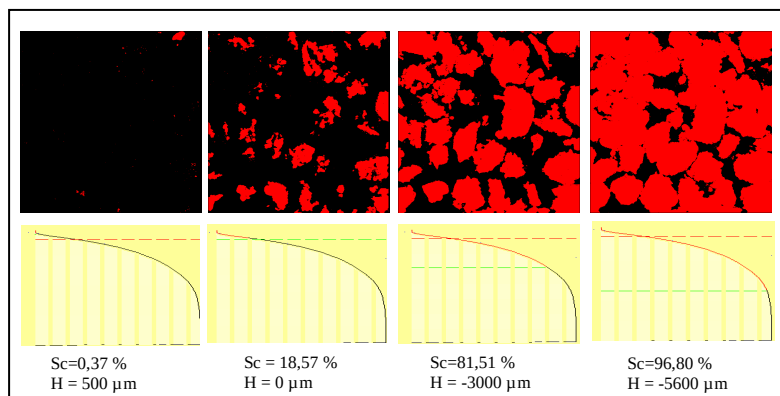


Figure 2. Evolution de la surface de contact S_c avec la profondeur

3.1.4. Méthode de calcul des paramètres de la courbe d'Abbott

La norme (ISO 13565-2) définit un certain nombre de paramètres (tableau 1) dont nous transposons le calcul de 2D en 3D. La figure 3 illustre la méthode de calcul de ces paramètres. Une portion de 40 % de large est recherchée de manière

que la pente de la droite sécante soit la plus faible (segment [AB]). Le segment [AB] trouvé est prolongé de chaque côté pour couper les axes verticaux en C et D. Les deux niveaux de coupe obtenus servent à déterminer le plateau (cœur) du profil. Les points de la courbe ayant pour altitudes celles des points C et D sont désignés par Mr1 et Mr2 respectivement. Le paramètre R_k est calculé comme étant la différence entre les altitudes des points C et D. Les aires triangulaires équivalentes aux aires comprises entre la courbe d'Abbott et les deux axes horizontaux passant par C et D sont calculés et désignés par A1 et A2 respectivement. Les hauteurs de ces triangles correspondent aux paramètres R_{pk} et R_{vk} .

Tableau 1. Paramètres de la courbe d'Abbott

paramètre	signification
R_k	profondeur estimée de la quantité de matière disponible à l'usure et supportant les efforts
R_{pk}	altitude estimée des pics les plus saillants
Mr1	proportion des pics saillants
A1	surface de la portion des pics saillants de la courbe d'Abbott
R_{vk}	profondeur estimée des creux
100-Mr2	proportion des creux
A2	surface de la portion des creux de la courbe d'Abbott

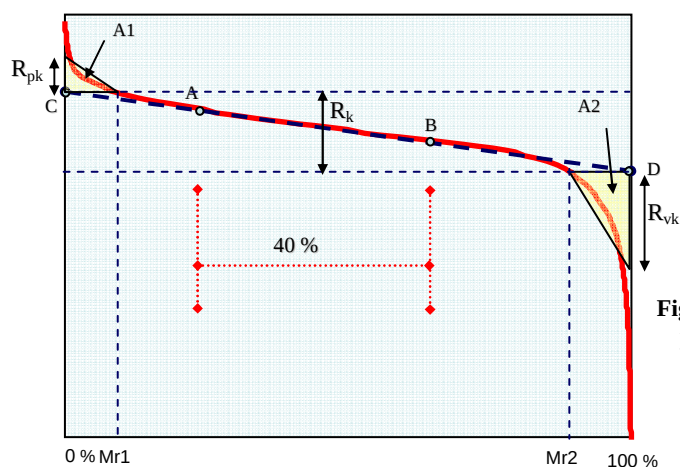


Figure 3. Détermination des paramètres de la courbe d'Abbott

Ces paramètres sont calculés de la même manière pour les courbes de taux de longueur portante et les courbes de taux de surface portante. L'analyse des exemples de résultats expérimentaux présentée dans la suite est faite en 3D (courbe de taux de surface portante).

4. Résultats expérimentaux

Deux séries de trois éprouvettes chacune ont été testées. La température de l'essai a été fixée à 35°C pour la première série et à 60°C pour la deuxième. Les figures suivantes (4, 5 et 6) montrent l'évolution des moyennes et des écart-type des paramètres R_k , R_{pk} et R_{vk} en fonction de la température pour chacune des deux séries.

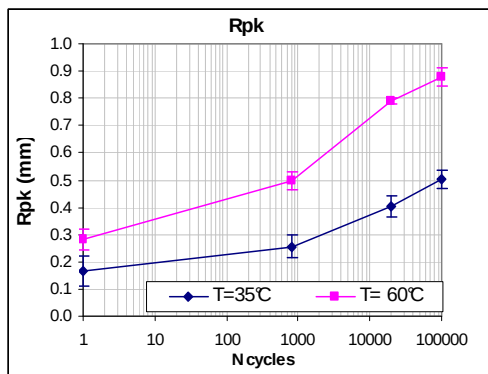


Figure 4. Evolution de la moyenne et de l'écart-type de R_{pk} avec le nombre de cycle pour deux températures

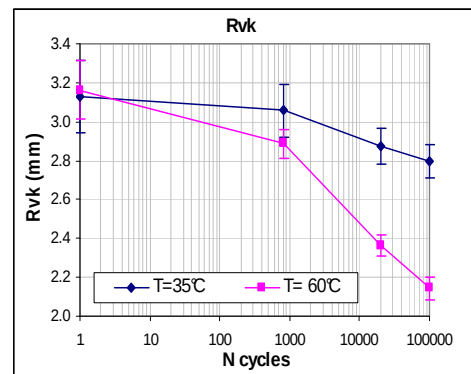


Figure 5. Evolution de la moyenne et de l'écart-type de R_{vk} avec le nombre de cycle pour deux températures

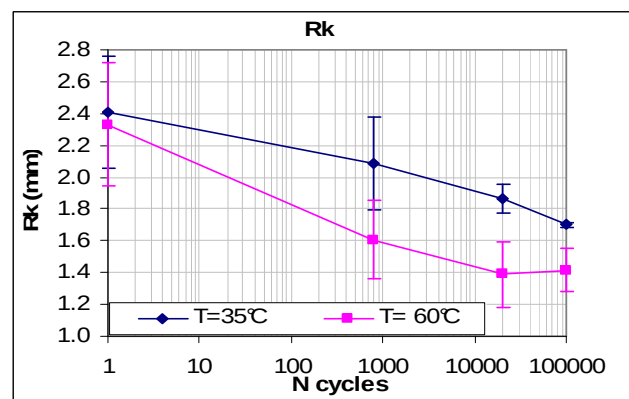


Figure 6. Evolution de la moyenne et de l'écart-type de R_k avec le nombre de cycle pour deux températures

La figure 4 montre que l'amplitude des pics saillants augmente avec le nombre de cycles. Cette augmentation est plus importante à 60 °C. L'augmentation de R_{pk} peut être expliquée par la présence de certains points bloqués dans la surface (granulat ne

pouvant plus s'indenter dans la matrice). Une baisse générale de niveau du plateau du profil augmente l'altitude de ces pics par rapport au plateau. La figure 5 montre une diminution de R_{vk} avec le nombre de cycles. Cette diminution est beaucoup plus importante à 60 °C. La diminution de R_{vk} signifie une diminution de la profondeur des creux dans la surface. La surface devient plus fermée. La figure 6 montre une diminution de R_k avec le nombre de cycles. On constate qu'à 60°C et après 800 cycles de sollicitation, R_k présente une diminution très importante par comparaison à ce qui se passe à 35°C. Ceci pourrait nous conduire à la conclusion : pour des températures très élevées (ici 60°C) une grande usure peut se produire trop tôt c'est-à-dire après un nombre réduit de sollicitations. Ce qui pourrait expliquer le fait que sur une chaussée et par temps de canicule, un nombre réduit de véhicules poids lourd suffit pour user la texture de la couche de roulement.

5. Conclusion

L'utilisation de la courbe de taux de surface portante a permis d'évaluer l'évolution d'une surface d'enrobé après sollicitation mécanique. Les paramètres déterminés à partir de cette courbe permettent de quantifier cette évolution en fonction du nombre de cycles et de la température. De plus, cette méthode paraît capable de donner différentes informations sur l'évolution de la surface étudiée : diminution des vides, apparition des creux, diminution de la quantité de matière disponible à l'usure. Ceci pourrait ouvrir de nouvelles perspectives du fait que ces informations sont de grande importance vis-à-vis l'adhérence. La procédure expérimentale développée va être employée dans le cadre de l'optimisation de la formulation des enrobés en terme de durabilité de macrotexture.

6. Bibliographie

- Ech M., "Evaluation en laboratoire de la macrotexture de la surface de chaussée", 24^{èmes} *Rencontres Universitaires de l'AUGC*, Montpellier, juin 2006.
- Delanne Y., "Modélisation de la relation adhérence/texture en fonction de la vitesse", *Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées* n° 185, 1993, p. 93-98.
- Gothié M., "Influence de l'adhérence sur la sécurité routière", *Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, n° 185, 1993, p. 27-32.
- Gothié M., "Apport à la sécurité routière des caractéristiques de surface des chaussées", *Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, n° 224, 2000, p. 5-12.