

METHODE D'ÉVALUATION DU POLISSAGE SUPERFICIEL DES ROUTES (TROWS) – XXIII CONGRÈS MONDIAL DE LA ROUTE

M.GOTHIÉ
CETE de LYON, Bron, Rhône, France
michel.gothie@equipement.gouv.fr

M.T.DO
LCPC, Nantes, Loire Atlantique, France
Minh-tan.do@lcpc.fr

RÉSUMÉ

Les phénomènes d'usure des pneumatiques et de polissage des surfaces de chaussées sont des phénomènes complexes qui sont naturellement fortement reliés entre eux. Ces deux phénomènes dépendent de façon non linéaire de plusieurs paramètres parmi lesquels, la nature des matériaux utilisés, l'usage qui est fait de la route et du véhicule, les conditions environnementales et beaucoup d'autres. Du fait de leurs nombreuses implications économiques et écologiques, comprenant celles concernant la sécurité des usagers de la route, la possibilité de prévoir ces usures et d'une très grande importance pour les fabricants de pneumatiques, les gestionnaires de flottes de véhicules, les autorités routières et les gouvernements.

A partir de ces observations, nous avons lancé en 2000 pour 3 ans le projet TROWS soutenu par le 5^{ème} programme de travail financé par la communauté européenne. Parmi les résultats ont été obtenus des outils destinés à analyser l'usure des pneumatiques et le polissage superficiel des surfaces de chaussées.

Pour évaluer la relation entre le type de chaussée et l'évolution de l'adhérence sous trafic, nous avons utilisé plusieurs bases de données. Ces études générales nous ont apporté les données d'entrée pour sélectionner les surfaces à retenir pour l'essai conduit avec le manège du LCPC à Nantes, mais aussi pour apprécier la représentativité du circuit routier utilisé pour évaluer l'usure des pneumatiques de 2 véhicules légers et d'un poids-lourd.

Trois surfaces particulières ont été sélectionnées pour réaliser les essais d'usure sur le manège du LCPC à Nantes : un BBSG 0/14, un BBTM 0/10 et un BBTM 0/6. Ces essais ont permis d'évaluer l'usure du pneu et de la route lors de manœuvres d'environnement.

Deux tableaux ont été établis pour calculer des notes permettant de caractériser l'agressivité des surfaces routières sur les pneumatiques et des pneumatiques sur les surfaces routières. Ces notes ont été établies en se basant sur l'expertise des ingénieurs de la route et calculées avec les données mesurées sur le circuit routier italien.

Avec l'expérience réalisée en vraie grandeur sur ce circuit nous avons obtenu de bonnes corrélations entre les paramètres de polissage du au trafic et l'évolution de l'état réel de polissage des différentes surfaces du circuit. Ces différents éléments devraient pouvoir être utilisés dans les modèles de gestion pour d'une part faciliter le choix des techniques à utiliser et d'autre part déterminer le moment où des travaux seront nécessaires.

MOTS CLÉS

CHAUSSÉE / ADHÉRENCE / MACROTEXTURE / MICROTEXTURE / FROTTEMENT

1. INTRODUCTION

En 2000 un projet de trois ans financé 5ème programme de travail européen et appelé TROWS (Tyre and ROad Wear and Slip assessment) a démarré. Il est dirigé par TNO (Pays-Bas) et groupe 10 partenaires de 6 pays différents. Le principal objectif du projet TROWS est de prévoir l'usure du pneu et du revêtement à partir d'une meilleure compréhension du processus d'usure et par le développement d'outils expérimentaux et numériques. Le programme de recherche TROWS s'appuie principalement sur deux expérimentations organisées en vraie grandeur :

- des essais conduits sur le manège du LCPC à Nantes,
- des essais conduits sur un circuit routier et autoroutier situé en Italie le plus représentatif possible des conditions de circulation pouvant être rencontrées par les usagers (routes, autoroutes, tracé facile, tracé difficile...).

Ces différentes expérimentations ont pour but de réunir le plus grand nombre d'éléments permettant de caractériser les sensibilités relatives à l'usure de la surface des chaussées et des pneumatiques. A partir des essais manège, ont été étudiés l'influence de deux grands types de surfaces sur l'usure des pneumatiques dans des conditions d'essai identiques (BBTM et BBSG).

Sur le circuit routier, des véhicules instrumentés VL et PL ont réalisé un grand nombre de kilomètres avec un suivi précis des paramètres de conduite et de l'usure des pneumatiques. Il a été réalisé 40 000 km avec un PL semi-remorque puis 20 000 km avec un VL équipé de pneumatiques été, et 20 000 km avec un VL équipé de pneumatiques hiver. Des essais conventionnels ont été réalisés sur ce circuit afin de bien connaître les caractéristiques des surfaces rencontrées avant, pendant et après les essais d'usure.

Ces mesures conventionnelles réalisées régulièrement ont pour but principal de définir les caractères d'agressivité de la chaussée vis à vis des pneumatiques et d'évaluer l'agressivité du trafic en suivant l'évolution relative des parties du circuit les plus sollicitées.

2. ESSAIS RÉALISÉS SUR LE MANÈGE DU LCPC A NANTES

La piste de tests de fatigue du LCPC a été élaborée pour la recherche sur le comportement mécanique des structures routières soumises à une forte circulation. On applique des charges sur le revêtement au moyen d'un manège à 4 bras (Figure 1).



Figure 1 – Manège de fatigue du LCPC à Nantes.

Sur chaque bras, on peut configurer différentes conditions de chargements. Pour les deux expériences, chaque bras du Manège a été équipé d'un tandem. On a utilisé des roues-avant de camion. Les charges verticales appliquées variaient de 30 à 37.5 KN et les angles d'environnements variaient de -0.4° à $+0.7^\circ$. Trois types de revêtements ont été étudiés (le nombre entre parenthèses indique la taille maximum d'agrégat en mm.)

- béton bitumineux semi-grenu (14 mm) : BBSG 0/14 (dans les graphiques DA14 = BBSG 0/14);
- béton bitumineux très mince (10 mm) (dans les graphiques VTAC10 = BBTM 0/10);
- béton bitumineux très mince (6 mm) (dans les graphiques VTAC6 = BBTM 0/6).

La sélection des formules retenues s'est appuyée sur le fait qu'elles étaient représentatives de revêtements réels soumis au trafic en France, et qu'elles présentaient des évolutions d'adhérence différentes sous trafic. Les revêtements ont été mis en oeuvre sur une couronne de 19 m de rayon moyen et de 3 m de large. Les corps de chaussée existants, représentatifs des structures de revêtements usuels, ont été utilisés.

2.1. Tests réalisés

2.1.1. Durée des essais et définition de l'état d'usure

On a décidé de parcourir 200 000 rotations pour chaque expérience. On a réalisé des mesures à différentes étapes, correspondant aux états d'usure, de façon à établir des courbes d'évolution pour les caractéristiques du pneu et de la route. Les états d'usure sont exprimés en nombre de rotations ; l'état initial est exprimé comme rotation 0. Huit états d'usure ont été définis: $0 - 10^4 - 3 \cdot 10^4 - 5 \cdot 10^4 - 10^5 - 1.8 \cdot 10^5 - 1.9 \cdot 10^5 - 2 \cdot 10^5$. On a donné une tolérance de ± 2000 rotations au nombre de rotations auquel les bras du Manège sont arrêtés pour faire les mesures.

2.1.2. Accélération du processus d'usure

Pour accélérer le polissage des revêtements, on a décidé d'ajouter des matériaux abrasifs pendant les dernières 20 000 rotations. Les matériaux abrasifs sont les mêmes que ceux utilisés dans l'expérience CPA pour évaluer la résistance au polissage des agrégats. Ils sont composés de sable fin et d'émeri fin. Dans l'expérience CPA, on introduit d'abord le sable avec l'eau pendant 3 heures, puis on le remplace par l'émeri pendant 3 autres heures. Pour le programme TROWS, on a pensé d'abord répandre des abrasifs de la même façon que dans l'expérience CPA et pendant 10 000 rotations pour chaque abrasif. On a finalement utilisé l'équipement existant de répandage et les taux réels d'écoulement ont été calculés à la fin de l'expérience. L'équipement a été monté sur un bras du Manège. Par ce moyen, l'abrasif était répandu de façon continue sur la piste pendant les rotations. Notons que l'épandage a été réalisé sans eau.

2.2. Évaluation des caractéristiques du pneu et de la route

A chaque état d'usure, les bras du Manège ont été arrêtés et des mesures effectuées sur les pneus et les revêtements. Toutes les mesures duraient entre un jour et demi et deux jours, après quoi les rotations reprenaient jusqu'à l'état d'usure suivant.

2.2.1. Évaluation des caractéristiques du pneu

L'évolution de chaque pneu est évaluée par la mesure de la profondeur des rainures et l'examen des dessins du pneu. Les mesures de profondeur ont été faites au moyen d'un comparateur. Sur chaque profil transversal 4 profondeurs de rainure ont été mesurées.

2.2.2. Évaluation des caractéristiques routières

L'évolution du revêtement a été évaluée par mesures de frottement et mesures de texture. On a réalisé deux types de mesures :

- Mesures dynamiques le long de la ligne centrale donnant des caractéristiques de la piste,
- Mesures statiques à des endroits prédéfinis donnant des caractéristiques locales. Pour chaque revêtement on a marqué 6 points distribués uniformément au long de la piste d'expérience. Les points pour la première expérience, où le revêtement a été mis en œuvre sur toute la piste, ont été choisis sur une moitié de la piste.

Des mesures dynamiques de texture ont été réalisées avec le Protex TM 2 appareil poussé manuellement équipé d'un capteur laser (Figure. 2). Cet appareil donne la profondeur moyenne de profil défini par la norme ISO 13473-1. Une moyenne de cet indicateur calculée tous les mètres a été enregistrée. A partir de ces moyennes ont été calculées la valeur de profondeur moyenne de profil (PMP) pour chaque surface testée.



Figure 2 – Appareil Protex TM 2



Figure 3 – Appareil Griptester

Des mesures statiques comprenant des mesures volumétriques de macrotexture donnant la profondeur moyenne de texture (PMT) ont également été réalisées. Des mesures profilométriques ont également été réalisées donnant des informations sur la forme des aspérités de surface, sur la macrotexture et la microtexture de la surface d'essai. Des essais statiques de mesure de frottement ont été réalisés avec le Pendule britannique. Des essais dynamiques de frottement ont également été conduits avec l'appareil Griptester poussé manuellement (Figure 3).

2.3. Résultats

2.3.1. Évolution des caractéristiques du pneu

L'étude de l'évolution des profondeurs de sculptures des pneumatiques a été réalisée seulement entre 0 et 180 000 rotations. On peut observer une décroissance linéaire de la profondeur de sculptures avec le nombre de rotations du manège. Les résultats montrent que l'usure est plus importante sur le côté intérieur que sur le côté extérieur de la bande de roulement et que la bande centrale du pneu s'use plus vite que les bandes latérales.

2.3.2. Évolution des caractéristiques de surface

2.3.2.1. Examen visuel

Le film de bitume en surface a été rapidement supprimé sous l'action des rotations. Les surfaces ont semblées alors couvertes par un film très fin à partir de la deuxième étape d'usure (10 000 rotations). Il n'est pas certain que ce film soit composé seulement de gomme ou d'un mélange de gomme et d'autres matériaux. La surface était lisse au toucher et hydrophobique (les gouttes d'eau avaient la forme caractéristique de goutte d'huile). Un compactage des surfaces a été constaté pendant la première phase d'usure. Après 30 000 rotations, la surface routière présentait de l'orniérage (1 à 2 mm), et beaucoup de granulats (14 mm) présentaient leur face la plus large sur le plan horizontal. Ces premières rotations ont produit un rapide décapage du film de bitume à la surface de ces agrégats ainsi soumis à l'action des pneus. Visuellement, la surface présentait une rapide évolution jusqu'à 30 000 rotations, et peu par la suite. Pour la seconde expérience, on a observé des arrachements de granulats sur les deux revêtements (BBTM 0/10 et BBTM 0/6).

2.3.2.2. Évolution du frottement

L'évolution des valeurs PTV (« Pendulum Tester values ») est présentée à la figure 4. La tendance générale montre une décroissance des PTV avec l'usure. L'adhérence semble être moins affectée par le trafic sur un revêtement très mince que sur un revêtement dense. En réalité, la perte de frottement entre l'état 0 rotations et l'état 180 000 cycles est d'à peu près 40% pour le BBSG 0/14, et seulement 12% pour le BBTM 0/6 et presque négligeable pour le BBTM 0/10. Sur les surfaces en BBTM, les valeurs PTV se stabilisent à 0,6, ce qui est satisfaisant vis à vis des risques de dérapage. Sur les surfaces en béton bitumineux semi-grenu, les PTV étaient très élevées au stade initial, mais décroissaient rapidement jusqu'à des valeurs plus basses que 0,5 à la fin de l'expérience. L'addition d'abrasifs a accéléré la décroissance des valeurs PTV (Figure 4). Le lissage des aspérités de surface dues aux particules abrasives a probablement été la cause principale de la réduction d'adhérence. Le BBSG a été affecté surtout par l'abrasif fin, alors que les BBTM ont été affectés par les deux types d'abrasifs. La perte additionnelle d'adhérence due aux abrasifs est d'à peu près 10% pour toutes les surfaces.

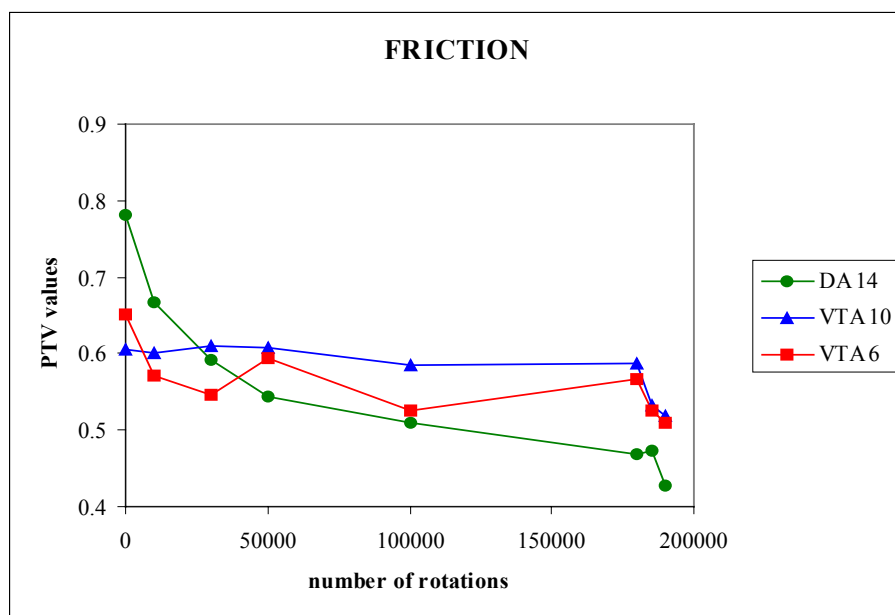


Figure 4 - Évolution des valeurs au Pendule en fonction du nombre de rotations

2.3.2.3. Évolution de la Texture

Profondeur moyenne de texture

L'évolution du PMT est présentée dans la figure 5. Une tendance semblable a été observée pour le PMP. Après 50 000 rotations, le PMT s'est stabilisée sur les BBTM, alors que le PMT s'accroît sur le BBSG 0/14. Cette évolution particulière de la macrotexture pourrait être dû au fait que les granulats dans le BBSG 0/14 ont été déplacés par les pneus et réarrangés dans la piste d'usure. Il serait plus difficile de déplacer les granulats dans les BBTM, puisqu'il y a moins de sable dans le mélange ce qui donne un squelette plus rigide.

Figure 5 - Évolution de la profondeur moyenne de texture en fonction du nombre de rotations

2.3.3. Influence de la microtexture sur l'usure du pneu

L'analyse de surface à l'échelle de la microtexture montre une plus forte agressivité pour la surface BBTM 0/10 comparée au BBTM 0/6 et au BBSG 0/14. L'usure du pneu devrait donc être plus prononcée sur le BBTM 0/10. Une comparaison entre la première et la deuxième expérience a ensuite été réalisée sur des pneus ayant subi même chargement et même angle d'envirage, ce qui signifie que C1 a été comparé avec C2 et ainsi de suite. Du fait que l'usure n'était pas uniforme sur la largeur de la bande de roulement du pneu, on a effectué des comparaisons séparées pour les différents points de mesure.

2.3. Conclusions

L'objectif principal des expériences réalisées sur les pistes du Manège est l'évaluation de l'usure du pneu et de la route lors des manœuvres d'envirage. Différentes configurations de charges et d'envirage, ont été testées sur trois surfaces routières. Les conclusions principales tirées de ces expériences sont les suivantes :

- Le trafic induit un premier compactage des surfaces et aplatit les granulats de surface

- Ces effets font décroître la profondeur moyenne de texture de la surface. Un orniérage s'est ainsi formé sur la piste d'usure, surtout à la fin des expériences, et on a pu observer un ré-arrangement des granulats de surface, principalement sur le BBSG.
- La microtexture de surface a décré sous le trafic. Il est difficile de savoir si cette évolution était due au lissage des aspérités ou au fait qu'un film fin a progressivement couvert la surface routière. La composition de ce film n'est pas définie ; cela pourrait être un mélange de gomme et d'autres matériaux comme des débris de matériaux routiers et de la poussière.
- L'adhérence décroît avec le nombre de passages. La baisse est plus importante sur le béton bitumineux dense (40%) que sur les bétons bitumineux très denses (10% ou moins).
- La macrotexture décroît avec le trafic. Cette réduction peut être mise en relation avec le post compactage exercé par les pneus.
- La microtexture des bétons bitumineux très minces se maintient bien sous l'action du trafic. Cela peut expliquer le fait que l'usure des pneumatiques est plus importante sur ce type de surface que sur la surface en béton bitumineux.

3. ÉSSAIS RÉALISÉS SUR LE CIRCUIT ITALIEN

3.1. Mesures réalisées sur le circuit

Sur ce circuit routier de 120 km de long plusieurs campagnes de mesures ont été réalisées durant les trois années du projet TROWS ; mesures de macrotexture et de mégatexture avec le matériel « mlpc » RUGO ; mesures de coefficient de frottement transversal (CFT) avec l'appareil SCRIM du CETE de Lyon (Figure 6) ; accélérations transversales et longitudinales avec la Xantia du CETE de Lyon (Figure 7). Les indices d'uni et les caractéristiques géométriques ont été mesurées avec l'ARAN de VIAGROUP. Des informations sur le trafic ont été collectées par UNIFI sur toutes les sections du circuit et quatre différents passages ont été réalisés avec l'appareil SCRIM. Deux tableaux ont été réalisés pour quantifier d'un côté l'agressivité de la route sur les pneus et de l'autre l'agressivité des pneus sur la surface routière (Figures 8 et 9).



Figure 6 – Appareil SCRIM



Figure 7 – Appareil Xantia

3.2. Lois d'évolution du polissage des surfaces de chaussée

L'évolution du CFT des différentes surfaces du circuit routier évoluant principalement sous l'action du trafic, nous avons mis en relation les deltas CFT moyen calculés précédemment avec les notes calculées pour caractériser l'agressivité des pneumatiques (donc du trafic) sur les surfaces des revêtements.

La corrélation linéaire (1) obtenue montre l'assez bonne relation entre l'agressivité du trafic et le niveau de polissage des surfaces de chaussée. Cette relation est intéressante également car elle met en évidence un seuil d'agressivité du trafic en deçà duquel le niveau de CFT a tendance à croître. Cette constatation avait très souvent été faite sur des chaussées peu circulées, sur lesquelles l'action combinée des pluies, des variations de températures, avait tendance à décaper le liant et augmenter la microtexture des granulats de surface.

Marks on road	Aggressiveness
otexture	Mark
C<0.50	1
.50<SFC<0.60	3
.60<SFC	5
ture	Mark (*)
D<0.50 mm	1(a) 0,5(b)
.50<ETD<1 mm	2(a) 1(b)
m<ETD	3(a) 1,5(b)
e<40	0.5
0<Lme<50	1
<Lme	1.5
ness	Mark
<IRI<8	1
IRI	1.5

Curves	Mark
R<250 m	3
250<R<500 m	2
500 m<R	0
Curve (1) +Superelevation	Mark
Cr+S>0% or Cr+S<0%	3
Cr+(-2.5%<S<0%) or Cr+(0%<S<2.5%)	2
Cr+(S>2.5%) or Cr+(S<-2.5%)	1
Longitudinal slope	Mark
S<1%	0
1<S<5%	1
5%<S	2
Ruts	Mark
h<5 mm	0
5<h<10 mm	0.5
10 mm<h	1
Maximum mark	20

Figure 8 – Notes sur l'agressivité de la route

Mark on tyres	aggressiveness
Total strains (longitudinal + transversal) in g	Mark = to the total strains (0 to 8)
Traffic	Mark
T<3000 v/d	1
3000<T<9000 v/d	5
9000<T<15000 v/d	9
15000 v/d<T	12
Maximum mark	20

Figure 9 – Notes sur l'agressivité des pneus

L'intérêt de la relation (1) réside dans le fait que pour la première fois, en tous les cas en France, une quantification de ce phénomène a pu être réalisée

Si l'on considère que l'évolution du CFT correspond au polissage de la surface de chaussée, on peut écrire cette corrélation (1) sous la forme d'une loi générale pour toutes les surfaces de chaussée :

$$\text{Polissage} = -1,64 \cdot (\text{note agressivité des pneumatiques}) + 10,42 \quad (R^2 = 0,76) \quad (1)$$

Pour affiner la relation obtenue et faire intervenir deux autres paramètres importants dans l'évolution de l'adhérence sous trafic, nous avons calculé une corrélation multicritères entre les delta CFT, les notes sur l'agressivité des pneumatiques, et les paramètres propres au revêtement que sont la microtexture (caractérisée par le CFT) et la macrotexture (caractérisée par l'estimation de la profondeur moyenne de texture (PTE). Le niveau de la corrélation s'est encore amélioré en utilisant ces deux autres facteurs explicatifs. La loi correspondante est la suivante :

$$\text{Polissage} = -1,28 \cdot (\text{note agressivité des pneumatiques}) - 3,08 \cdot (\text{macrotexture}) + 12,63 \cdot (\text{CFT}) + 1,96 \quad (R^2 = 0,78) \quad (2)$$

Avec : La macrotexture exprimée en mm (PTE, profondeur équivalente de Texture),
Le CFT exprimé en centièmes,
La note d'agressivité ayant une valeur comprise entre 0 et 20.

3.3. Conclusions

L'expérience réalisée en vraie grandeur sur le circuit routier italien a permis de croiser les paramètres polissage du au trafic et évolution de l'état de polissage des différentes surfaces du circuit. Les niveaux des coefficients de corrélation obtenus permettent de constater la bonne relation entre les paramètres examinés. L'évolution des niveaux de polissage des surfaces de chaussées peut être expliquée et même prévue dans le temps si l'on connaît les natures de revêtements utilisés et les contraintes dues au trafic.

Ces contraintes peuvent être appréciées par le niveau de trafic et par une évaluation des contraintes longitudinales et transversales qu'il entraîne. Cette dernière évaluation peut être réalisée soit en utilisant les paramètres de construction de la route, soit par des relevés effectués par un véhicule instrumenté.

Le type de revêtement a également un rôle dans cette évolution du niveau de polissage, et l'on constate que les surfaces à macrotexture négative (BBDr, BBTM), tout en conservant une macrotexture plus élevée dans le temps, se polissent plus rapidement que les surfaces à macrotexture positive. Ces constatations vont tout à fait dans le sens des utilisations de formulations 0/6 pour ces surfaces à macrotexture négative (augmentation de la microtexture, plus grande résistance au polissage, et conservation d'un niveau de macrotexture suffisant).

Ces différents éléments devraient pouvoir être utilisés dans les modèles de gestion pour d'une part faciliter le choix des techniques à utiliser et d'autre part déterminer le moment où des travaux seront nécessaires

RÉFÉRENCES

DO, M-T; KERZREHO, J-P; BALAY, J-M; BROSSEAUD, Y; GOTHIE, M. (2002) Essais de pneumatiques de poids lourds sur le manège. Rapport final (TROWS, LCPC Comité C).

DRURE, J-P ; GORAND, J-L ; DELCOURT, C. ; GOTHIE, M. (2003) Évaluation de l'agressivité relative des pneus et de la route (TROWS et LCPC Comité C).