



# 2

## **Adhérence des chaussées routières et facteurs d'influence**



# Les mesures de l'adhérence des chaussées en France et leur interprétation

Michel GOTHIE

Laboratoire régional des Ponts et Chaussées de Lyon

## RÉSUMÉ

Les matériels et les méthodes utilisés actuellement en France pour évaluer les caractéristiques d'adhérence d'un revêtement sont décrits. Ces caractéristiques sont obtenues par l'évaluation de la microtexture et de la macrotexture des couches de roulement des chaussées. Ces méthodes et ces appareils répondent bien aux besoins des gestionnaires de la route. Les deux études internationales AIPCR [1992] et HERMES [2004], dont les principaux résultats sont présentés brièvement, ont permis de comprendre les relations entre les valeurs données par ces différents matériels et ont conduit à la proposition d'un indice unique. Cet indice est intéressant, mais ne permet pas encore d'atteindre des niveaux de répétabilité et de reproductibilité suffisants. Les règles principales à appliquer pour interpréter les mesures d'adhérence sont rappelées. Les domaines principaux d'application des mesures de frottement et de texture sont également donnés. Les conséquences du contexte européen pour ces matériels sont enfin abordées.

DOMAINE : Route.

## ABSTRACT

SKID RESISTANCE MEASUREMENTS ON FRENCH PAVEMENTS AND THEIR INTERPRETATION

The equipment and methods currently employed in France to evaluate the skid resistance characteristics of a pavement will be described. These characteristics are obtained by means of investigating both the microtexture and macrotexture of the pavement's wearing courses. The methods introduced along with associated instrumentation fully satisfy the needs of road infrastructure managers. The two international studies performed, i.e. PIARC (1992) and HERMES (2004) whose main results are summarized herein, enable understanding the relationships existing between the values output by these various instruments and have led to proposing a single index. Such an index would be beneficial, yet still not allow attaining adequate levels of repeatability and reproducibility. The primary rules when interpreting skid resistance measurements will be recalled, and the preferential fields of application for friction and texture measurements provided. The impacts of the European context on these devices will also be discussed.

FIELD: Roads.

53

## UTILITÉ DE LA CONNAISSANCE DE L'ADHÉRENCE

Les accidents de la route en France, bien qu'en très forte réduction ces dernières années, restent encore trop nombreux. Plusieurs organismes s'efforcent d'agir sur chacun des trois facteurs contribuant à ces accidents : le conducteur, le véhicule et la route. C'est bien évidemment sur l'infrastructure que portent les principaux efforts du ministère de l'Équipement. Différentes études réalisées en France et dans le monde ont montré qu'il existe généralement une bonne corrélation entre le risque d'accident sur chaussée mouillée et les paramètres mesurés sur chaussée permettant d'apprécier les caractéristiques d'adhérence des revêtements [1-3].

L'adhérence d'une chaussée correspond à sa capacité à mobiliser des forces de frottement entre le pneumatique d'un véhicule et la surface du revêtement sous l'effet des sollicitations engendrées par la conduite : accélérations, freinages, changements de direction, etc. Elle permet de :

- conserver à tout moment la trajectoire désirée, notamment en virage ;
- réduire les distances de freinage ;
- faciliter les manœuvres d'évitement ou de récupération de trajectoire.

À ces différentes conditions correspondent deux aspects de l'adhérence : l'adhérence transversale, évaluée par l'intermédiaire d'un coefficient de frottement transversal (cas du dérapage et du virage), et l'adhérence longitudinale, évaluée par l'intermédiaire d'un coefficient de frottement longitudinal (cas du freinage).

Pour obtenir un bon niveau d'adhérence, il faut assurer un contact permanent entre le pneumatique et la chaussée, en évitant la présence d'une lame d'eau dans l'aire de contact pneumatique/chaussée.

L'évacuation de cette lame d'eau est assurée en premier lieu par les sculptures du pneumatique et par la macrotecture du revêtement de chaussée. Après cette évacuation, il subsiste un film d'eau résiduel de quelques microns d'épaisseur, dont la présence rend le revêtement glissant, et qui ne peut être rompu que par la microtexture\*.

Un bon niveau d'adhérence est obtenu en associant une bonne macrotecture (évacuation de la lame d'eau) et une bonne microtexture (rupture du film d'eau résiduel).

Pour les ingénieurs routiers, la connaissance de l'adhérence des divers types de revêtements, leur évolution dans le temps et l'influence des principaux facteurs qui modifient cette adhérence imposent de concevoir des appareils de mesure et de réaliser de nombreux essais sur route. Ces essais sur route permettent alors :

- de prévenir certains accidents par la détection des points du réseau routier de faible niveau d'adhérence ;
- d'avoir une meilleure connaissance technique des possibilités des divers types de revêtements routiers et de leur évolution sous circulation ;
- d'obtenir une meilleure adéquation entre les techniques visant à améliorer l'adhérence et les autres caractéristiques (géométriques ou non) de la route ;
- de connaître la physionomie de l'ensemble du réseau routier et son évolution au cours du temps.

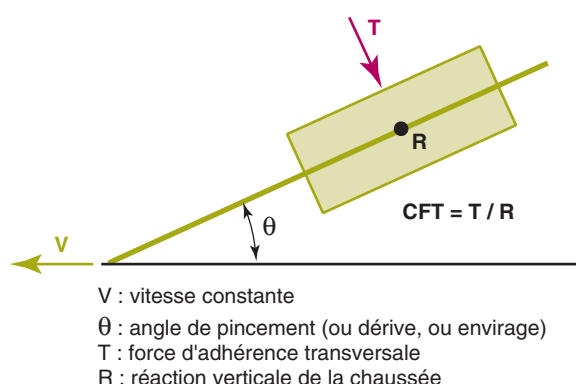
## PRINCIPES DE MESURE DE L'ADHÉRENCE CONVENTIONNELLE

Pour apprécier les paramètres principaux caractérisant l'adhérence d'une surface de chaussée, il existe de nombreuses méthodes d'évaluation utilisant des appareils spéciaux décrits dans le paragraphe suivant. Elles sont fondées sur la mesure d'un coefficient de frottement à diverses vitesses de glissement ou sur la combinaison de mesures de frottement et de macrotecture. Il existe des méthodes permettant la mesure directe de la microtexture, mais elles ne sont pas encore opérationnelles. L'appréciation de ce facteur est effectué actuellement par une mesure indirecte utilisant un frottement à faible vitesse de glissement. Les différents principes de mesure utilisés sont présentés ci-après.

### Coefficient de frottement transversal (CFT)

On donne au plan de rotation d'une roue tractée à une vitesse de translation constante un angle d'envirage avec la direction du déplacement (Fig. 1). On mesure la réaction transversale  $T$ , engendrée par l'adhérence pneumatique-chaussée, qui tend à ramener la roue dans la direction du déplacement.

□ **Figure 1**  
Définition du coefficient de frottement transversal (CFT).



\* Voir les articles de Minh-Tan Do et Joël Foucard dans ce numéro.

Le coefficient de frottement transversal (CFT) est égal au rapport entre cette réaction transversale T et la réaction R normale au sol due à la charge sur la roue. Sur la figure 3, qui donne en particulier la variation du coefficient de frottement transversal en fonction du pourcentage de glissement, ou du taux de glissement (défini plus bas), on constate que le CFT est maximal pour un taux de glissement proche de 0 % et très faible pour un taux de glissement de 100 %. L'adhérence caractérisée par ce coefficient servant à diriger le véhicule, les effets d'un freinage avec blocage des roues (taux de glissement de 100 %) dans un virage se traduisent par une perte de contrôle du véhicule.

On définit le taux de glissement G comme le rapport entre la vitesse de glissement pneu/sol et la vitesse du véhicule :

$$G \text{ (ou } K) = \frac{V - \omega R_e}{V} \times 100 \quad \text{exprimé en pourcentage.}$$

où

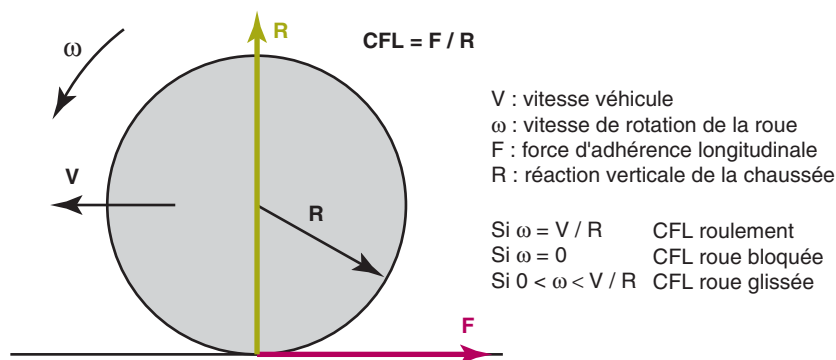
- $\omega$  est la vitesse angulaire de la roue ;
- $R_e$  le rayon « effectif » de roulement ;
- V la vitesse du véhicule.

## Coefficient de frottement longitudinal (CFL)

Une roue animée d'une vitesse angulaire constante (Fig. 2) est tractée à une vitesse de translation constante V (V est contenu dans le plan de symétrie vertical de la roue). On freine la roue et on mesure la force F qui se développe dans l'aire de contact pneu-chaussée et qui tend à ré-entraîner la roue à une vitesse angulaire correspondant à V/R (R = rayon de la roue).

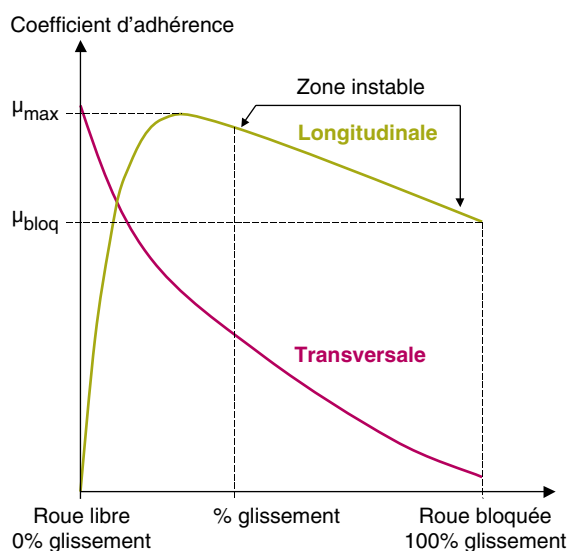
Le coefficient de frottement longitudinal (CFL) est le rapport entre la force F et la réaction R normale au sol due à la charge sur la roue.

Les mesures de coefficient de frottement longitudinal peuvent être effectuées roue bloquée ou roue glissée. L'adhérence d'un pneumatique n'est pas la même selon le pourcentage de glissement de la roue. Sur la figure 3, on constate que l'adhérence longitudinale passe par un maximum entre 10 et 20 % de glissement suivant les surfaces rencontrées et les pneumatiques utilisés [4].



□ **Figure 2**

Définition du coefficient de frottement longitudinal (CFL).



□ **Figure 3**

Variation du coefficient de frottement longitudinal et transversal en fonction du taux de glissement longitudinal.

## Mesures de distances d'arrêt

Il est possible, à partir de mesures de distances d'arrêt réalisées dans des conditions bien maîtrisées, de pouvoir définir la valeur d'un coefficient de frottement caractérisant l'adhérence rencontrée par les pneumatiques en cours de freinage. Dans les mêmes conditions d'essais (en particulier, mouillage et nature du pneumatique), il n'y a pas de différence fondamentale entre la mesure d'un CFL et la mesure d'une distance d'arrêt. L'avantage apparent de la mesure de la distance d'arrêt sur la mesure d'un coefficient de frottement réside dans le fait que, dans la distance d'arrêt, on tient compte à la fois du niveau du coefficient de frottement et de sa variation en fonction de la vitesse en cours de freinage. Par contre, cette mesure ne peut être que ponctuelle. Elle ne peut en aucun cas signaler les points faibles du réseau. Elle est plus souvent utilisée par les manufacturiers de pneumatiques que par les ingénieurs routiers.

Les mesures de distances d'arrêt étaient, jusqu'à un passé relativement récent, réalisées roues bloquées avec différents systèmes permettant de conserver le pouvoir directeur du véhicule en cours de freinage (freinage des roues avant ou mieux encore de deux roues opposées diagonalement). Avec l'apparition des systèmes antibloquants, il est possible d'effectuer beaucoup plus facilement des mesures de distances d'arrêt ou de ralentissement en contrôlant parfaitement la trajectoire du véhicule en cours de freinage. Cette mesure permet de déterminer l'adhérence du revêtement en utilisant les formules suivantes [4] :

$$\mu_{\text{moy}} = \frac{M \cdot \left[ \frac{V_2^2 - V_1^2}{2d} \right] - M \cdot \left[ A + B \cdot \left( \frac{V_1 + V_2}{2} \right)^2 \right]}{\sum F_z}$$

avec

- d : distance de freinage,
- $V_1$  : vitesse de début de freinage,
- $V_2$  : vitesse de fin de freinage,
- M : masse totale du véhicule,
- $F_z$  : charge verticale supportée par chaque roue,



➤  $F_{rl}$  : force de ralentissement du véhicule en roues libres,

$$F_{rl} = M. \left[ A + B. \left( \frac{V_1 + V_2}{2} \right)^2 \right]$$

A et B sont déduits de la formule précédente à partir d'essais de décélération naturelle en roues libres.

## APPAREILS ET MÉTHODES DE MESURES

### Mesure de coefficients de frottement (CFL ou CFT)

*Remarque* : les notations en majuscules CFL, CFT, etc. correspondent à des coefficients de frottement mesurés sur différentes surfaces de chaussées avec des appareils dits « conventionnels ». Lorsque l'on souhaite évaluer les performances d'un pneumatique on utilise les notations  $\mu_x$  (longitudinal) et  $\mu_y$  (transversal).

Seuls les appareils utilisés en France sont succinctement présentés. Les appareils utilisés dans les années 1990 dans le monde, en Europe dans les années 2000 et pour les pistes d'aérodrome sont présentés dans les publications [5-8].

#### Mesure avec le pendule SRT

Le pendule SRT (pour « Skid Resistance Tester ») conçu par le TRL (« Transport Research Laboratory » en Angleterre) est un appareil statique (Fig. 4). Il porte, à l'extrémité de son bras articulé, un patin de caoutchouc frottant pendant l'essai sur la surface à mesurer. Pendant le frottement, un ressort applique le patin sur cette surface avec une force connue. Un dispositif de réglage permet de maintenir la longueur de frottement dans des limites déterminées. La hauteur maximale de remontée du pendule est repérée par une aiguille placée devant un cadran gradué directement en « coefficients de frottement mesurés par le pendule » (cf. norme NF EN 13036-4 [9]).



□ **Figure 4**  
Le pendule SRT (Skid Resistance Tester).

Les niveaux donnés par le pendule SRT correspondent à la quantité d'énergie dissipée au cours du frottement par rapport à l'énergie initiale au moment du lâcher. Le bilan des forces au moment du frottement du patin sur la surface de la chaussée permet d'établir une formule d'estimation d'un coefficient  $\mu_{SRT}$ . Le taux de glissement pour cet appareil est de 100 %.

Cet appareil est principalement utilisé en France pour caractériser l'adhérence des marquages routiers. Il est également utilisé pour des expérimentations particulières, par exemple, pour évaluer la microtexture d'une surface limitée. Cet appareil est enfin utilisé, avec un patin spécifique, dans l'essai permettant d'évaluer le coefficient de polissage accéléré (CPA) des gravillons utilisés pour les couches de roulement.

### Mesure avec l'appareil Grip Tester

Le Grip Tester (Fig. 5), fabriqué en Écosse par la société Findlay Irvine, est importé en France par la société VECTRA. Cet appareil mesure les forces de frottement longitudinal entre le revêtement et un petit pneumatique lisse, selon le principe d'une roue freinée avec un taux de glissement constant, de l'ordre de 15 %.

L'appareil se présente sous la forme d'une petite remorque autonome permettant la mesure, l'enregistrement et le mouillage. Il peut être poussé à la main ou tracté par une voiture à vitesse basse ou modérée, le châssis ne comportant qu'une suspension sommaire. Les dimensions sont voisines de 1 m en longueur, 0,8 m en largeur et 0,5 m en hauteur. Sa masse est de 85 kg. Le pneumatique de mesure est de taille 10 × 4-5 (diamètre × largeur ; valeurs exprimées en pouces) conformément à la norme ASTM E 1844-96 [10].

□ Figure 5  
Le Grip Tester.



Le mouillage devant la roue de mesure est assuré par une vanne à faible débit à partir de deux petits réservoirs placés sur l'appareil lorsqu'il est poussé manuellement. Le débit est de l'ordre de 0,6 l/min à 5 km/h et de 4 l/min à 30 km/heure.

Le taux de glissement (15 %), générateur de la force d'adhérence, est obtenu par entraînement mécanique entre deux roues porteuses et la petite roue de mesure chargée d'environ 19 daN. La mesure est réalisée en continu sur une trace aussi rectiligne que possible.

L'axe de la roue de mesure est équipé d'un système à jauges de contraintes permettant la mesure de la force verticale  $F_v$  et de la force horizontale  $F_h$ . Le CFL mesuré par l'appareil Grip Tester, appelé aussi « Grip Number » (GN) est égal au rapport  $F_h/F_v$ .

Cet appareil est utilisé pour des mesures localisées servant le plus souvent dans le cadre d'études de sécurité réalisées avec l'appareil VANI [11]. Le Grip Tester n'est pas adapté aux mesures à grand rendement ni aux mesures à réaliser à des vitesses supérieures à 40 km/h. Il peut être utilisé pour l'évaluation de l'adhérence des marquages routiers, des voies piétonnes et des pistes cyclables.

### Mesure avec l'appareil ADHERA

#### ADHERA standard

Cet appareil [12] développé et construit en France par le CECP de Rouen équipe les services des Ponts et Chaussées depuis 1968 (Fig. 6). Il a été amélioré au cours du temps tout en utilisant le même principe de mesure : CFL mesuré roue bloquée (taux de glissement de 100 %) (cf. Fig. 2).





□ **Figure 6**  
L'appareil ADHERA.

---

L'équipement est constitué d'une remorque monoroue, tractée par un véhicule aménagé pouvant atteindre une vitesse de 120 km/h. Les mesures sont normalement effectuées dans le flot de la circulation. Le déroulement des opérations nécessaires à l'essai (mouillage de la chaussée, blocage de la roue, enregistrement des mesures) est automatique. La mesure est très rapide (quelques secondes).

La roue de la remorque, chargée de 250 daN, équipée d'un pneumatique 165 × 65R15 lisse (pneu AIPCR lisse [13]), est tractée à vitesse constante par le véhicule assurant le mouillage du revêtement. La roue est bloquée sur une longueur de 20 m de la zone à tester ; on mesure le couple moyen des forces tendant à la ré-entraîner (cf. norme NF P 98-220-2 [14]).

La répétabilité et la reproductibilité sur une planche homogène sont respectivement de 4 % et 5 %.

Cet appareil est utilisé pour des études particulières (zones accidentogènes, évaluation de nouvelles techniques, etc.) et n'est pas adapté aux mesures à grand rendement.

Il existe trois appareils ADHERA en France utilisés par les Laboratoires régionaux des Ponts et Chaussées (LRPC) de Lille, Bordeaux et Lyon.

#### **ADHERA « recherche »**

Une nouvelle version de l'appareil ADHERA appelé « ADHERA recherche » a été développée. L'appareil utilise la même remorque et le même véhicule tracteur que l'appareil ADHERA standard. Seul a été modifié le système de mesure. Ce dernier permet, au cours d'un freinage progressif, de mesurer point par point la courbe de variation du CFL en fonction du taux de glissement. La mesure est donc effectuée avec un taux de glissement variant en cours de mesure de 0 à 100 %.

#### **Mesure avec l'appareil IMAG**

Cet appareil a été développé par le Service technique des bases aériennes (STBA) appelé maintenant STAC (Service Technique de l'Aviation Civile). Il se compose d'un véhicule tracteur et d'une remorque de mesure (Fig. 7). Le pneumatique d'essais est le pneumatique AIPCR lisse utilisé par l'appareil ADHERA. La charge à la roue est de 150 daN et la mesure de CFL est effectuée avec un taux de glissement de 15 %.



□ **Figure 7**  
L'appareil IMAG du STBA.

Les mesures sont le plus souvent réalisées avec le mouillage naturel pour donner aux pilotes le niveau d'adhérence de la piste sur laquelle ils vont atterrir. Cependant, il y a un dispositif autonome de mouillage de la chaussée pouvant générer une hauteur d'eau d'environ 1 mm. Les mesures peuvent être réalisées jusqu'à des vitesses de 140 km/h. Cet appareil existe en plusieurs exemplaires en France et est utilisé sur les principaux aéroports du pays.

### Mesure avec l'appareil SCRIM

L'appareil SCRIM [15], conçu par le TRL et fabriqué par la société britannique WDM (Fig. 8), mesure un CFT en continu (cf. Fig. 1 et normes NF P 98-220-3 [16] et NF P 98-220-4 [17]).



□ **Figure 8**  
L'appareil SCRIM (Sideway force Coefficient Routine Investigation Machine).



Le SCRIM est un camion équipé d'une citerne de 6 000 l qui porte une roue de mesure sur le côté droit (Fig. 9). Les mesures sont effectuées dans le flot de la circulation, sur la bande de roulement droite, partie de la chaussée la plus sollicitée par le trafic. La présence d'un chauffeur et d'un opérateur est nécessaire pour effectuer ces mesures. La roue de mesure fait un angle de  $20^\circ$  avec la direction de la vitesse du véhicule. Le taux de glissement utilisé est donné par la formule :  $G = \sin 20^\circ = 0,34$  soit 34 %. Le pneu d'essai est un pneu lisse de  $76 \times 508$  (largeur  $\times$  diamètre ; valeurs exprimées en mm) avec une dureté et une résilience standardisées.

Il est chargé par une masse de 200 kg pouvant se déplacer verticalement, indépendamment des mouvements du véhicule. L'eau est distribuée juste devant la roue de mesure. La hauteur d'eau ainsi répandue correspond à environ 0,5 mm. Dans les conditions standard d'essai, l'autonomie maximale est de 100 km. Cet appareil est principalement utilisé pour des mesures à grand rendement (suivi de réseaux en particulier).



□ **Figure 9**  
Pneumatique d'essai de l'appareil SCRIM.

La répétabilité des mesures réalisées par l'appareil SCRIM dépend du niveau d'adhérence rencontré et a été évaluée à 5 % au cours de nombreuses répétitions effectuées sur différentes surfaces avec l'appareil du LRPC de Lyon.

La reproductibilité des mesures a été établie au Royaume-Uni avec des SCRIM sortant de révision. Elle est comprise entre  $\pm 0,03$  et  $\pm 0,05$  (à 95 %) pour une surface présentant un niveau de CFT de 0,50.

Depuis juin 2004, il existe trois appareils SCRIM opérationnels en France, un appareil géré par la société VECTRA et deux appareils gérés par le LRPC de Lyon.

## Les mesures de texture

### La microtexture

La microtexture caractérise la présence d'irrégularités de surface du revêtement de la chaussée dont la gamme de dimensions est inférieure à 0,2 mm verticalement et à 0,5 mm horizontalement. Elle joue un rôle important dans la dislocation du film d'eau (quelques dixièmes de mm) se trouvant entre le pneumatique et la surface des aspérités de la chaussée. Cette dislocation doit pouvoir s'effectuer quelle que soit la vitesse et le pneumatique ne peut pas la réaliser seul. Une bonne microtexture est donc un facteur essentiel d'une surface de chaussée. Il n'existe pas de méthode opérationnelle à grand rendement pour la mesure directe de la microtexture. On considère qu'une évaluation en est donnée par une mesure de coefficient de frottement réalisée avec une faible vitesse de glissement.

### La macrotecture

La macrotecture caractérise la présence d'irrégularités de surface dont la gamme de dimensions est de 0,2 à 10 mm verticalement et de 0,5 et 50 mm horizontalement. Elle est importante pour favoriser le drainage de la lame d'eau (un à plusieurs mm) se trouvant à l'interface pneumatique-chaussée. L'importance de ce drainage augmente avec la vitesse et le pneumatique, par ses sculptures, peut en réaliser une grosse partie.

La macrotecture est évaluée par deux méthodes différentes :

➤ une méthode volumétrique, dite « à la tache », qui donne une profondeur moyenne des aspérités de surface. L'indice déterminé est la « profondeur moyenne de texture : PMT ». Cette méthode est statique (norme NF EN 13036-1 [18]) (Fig. 10) ;



➤ une méthode profilométrique, qui permet d'obtenir par calcul la profondeur moyenne des aspérités de surface. Il s'agit d'une méthode dynamique (vitesses de 30 à 100 km/h). L'indice déterminé est la « profondeur moyenne du profil : PMP » (norme NF EN ISO 13473-1 [19]).

Les formules de détermination des indices internationaux permettent d'utiliser l'une ou l'autre de ces deux méthodes.

Pour la seconde méthode, le RUGO, matériel « mlpc », est utilisé par le réseau des LPC. L'appareil se compose, en particulier, d'un émetteur à rayon laser (Fig. 11) et d'un potentiomètre optique. Le rayon émis frappe la surface du sol et se réfléchit sur le potentiomètre optique. En fonction de la position du point illuminé sur ce potentiomètre, on en déduit la hauteur du point de réflexion au sol. La mesure s'effectue en continu, dans le trafic, à une vitesse pouvant atteindre 100 km/heure.

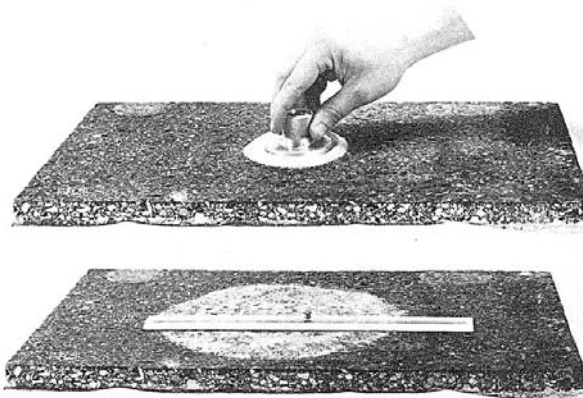
Cet ensemble est fixé à 30 cm du sol et l'étendue de mesure est de plus ou moins 6 cm par rapport à un point neutre de la chaussée.

Un micro-ordinateur pilote l'ensemble et reçoit à la fréquence d'environ 16 000 Hz une succession de hauteurs relatives de points de la chaussée sur une ligne parallèle à l'avancement du véhicule. Le



□ **Figure 10**

Mesure volumétrique dite « à la tache ».



□ **Figure 11**

Capteur Laser de l'appareil RUGO.



cycle de mesure se répète tous les 25 cm. Sur ces 25 cm, 100 prélèvements sont répartis uniformément sur 100 mm. Ces 100 prélèvements sont traités pour donner une valeur caractéristique de la macrotexture du revêtement. Tous les 40 cycles, pour un pas de 10 m, ou tous les 80 cycles, pour un pas de 20 m, le système calcule et enregistre la valeur moyenne des valeurs unitaires précédentes.

Pendant la mesure, le système enregistre en continu la vitesse, la distance parcourue et permet le repérage des mesures le long d'un itinéraire. Ces informations sont regroupées pour constituer un fichier de résultats archivé instantanément sur le disque dur du micro-ordinateur.

Les résultats des mesures sont présentés graphiquement. La bonne corrélation existant entre les valeurs PMP et les valeurs de « PMT » (anciennement hauteur au sable vraie HSv), notion assez familière aux ingénieurs routiers, permet de donner le résultat directement en PTE (profondeur de texture équivalente, anciennement hauteur au sable calculée HSc). La norme propose la loi informative suivante :  $PTE = 0,8 \times PMP + 0,2$ . Il est aussi possible d'utiliser la loi informative  $PTE = PMP$ . La répétabilité en PMP est de l'ordre de 3 %, la reproductibilité de 5 %.

L'appareil Protex (ou TM2) permet d'obtenir le même indicateur de macrotexture (PMP) que le RUGO selon la norme NF EN ISO 13473-1 [19]. L'appareil est poussé manuellement à une vitesse de l'ordre de 5 km/h. Cet appareil, fabriqué par la société anglaise WDM et commercialisé en France par la société VECTRA, est conseillé pour des mesures ponctuelles, mais n'est pas adapté pour des mesures en continu (suivi de réseau).

## COMPARAISON ENTRE LES VALEURS DONNÉES PAR LES DIFFÉRENTS APPAREILS DE MESURE DU FROTTEMENT

### Similitudes et différences entre les appareils

Des mesures effectuées sur une même surface avec les appareils cités, utilisant leur condition opératoire standard, donnent des valeurs différentes. Ces différences sont, bien sûr, attribuables aux principes de mesure, mais aussi à d'autres raisons qui sont citées ci-après.

63

#### Nature de la gomme du pneumatique

Les constituants de la gomme ont une influence sur les pertes d'énergie par hystérésis [3] dans le processus de friction et, en conséquence, sur la valeur du coefficient de frottement. Ce facteur est très influent comme cela a été constaté en 1998 lors de la fabrication du pneumatique AIPCR lisse par un nouveau fournisseur\*.

#### Dimensions du pneumatique et aire de contact

Les dimensions des pneumatiques sont significativement différentes entre le Grip Tester, le SCRIM, l'ADHERA et l'IMAG. Les charges sont parfois très différentes : Grip Tester (19 daN), ADHERA (250 daN), IMAG (150 daN), SCRIM (200 daN). En conséquence, les surfaces « frottantes » peuvent être très différentes. Ces différences jouent principalement sur l'aspect hydrodynamique du frottement.

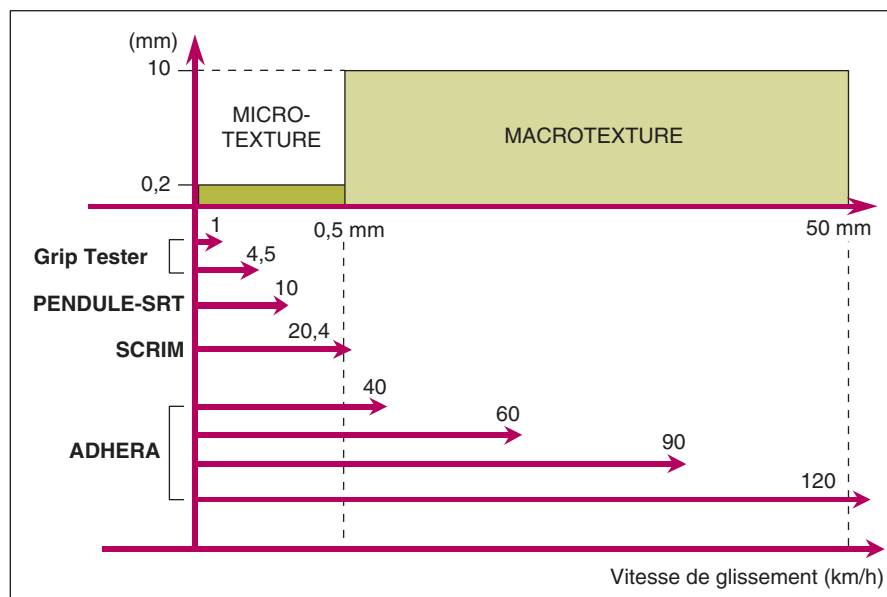
#### Vitesse de glissement

La vitesse de glissement (Fig. 12) est égale au produit de la vitesse de mesure  $V$  de l'appareil par le taux de glissement utilisé :  $V_g = V.G$ . Cette vitesse de glissement est donc égale à :

- $V \times 100 \%$  pour le pendule SRT, soit 10 km/h ;
- $V \times 15 \%$  pour le Grip Tester, soit environ 1 km/h (version poussée manuellement à 6 km/h) ou 4,5 km/h (version tractée à 30 km/h) ;
- $V \times 34 \%$  pour le SCRIM, soit 20,4 km/h (vitesse d'essai de 60 km/h et  $G = \sin 20^\circ$ ) ;
- $V \times 15 \%$  pour l'IMAG,
- $V \times 100 \%$  pour l'ADHERA.

\* Voir l'annexe de l'article de Yves Brosseau dans ce numéro.

Plus la vitesse de glissement est faible, plus la mesure du coefficient de frottement réalisée est sensible à la microtexture.



□ **Figure 12**  
Vitesses de glissement pour les différents appareils.

## Apport des études internationales

Les actions internationales de comparaison et d'harmonisation des appareils ont montré qu'il est possible de déterminer pour chaque appareil un indice commun, malgré les différences citées.

### Étude AIPCR 1992

Il s'agit d'une très importante étude expérimentale pour laquelle les appareils présentés ont été utilisés, parmi un ensemble de plus de trente appareils. Le rapport final [5] introduit l'« International Friction Index » (IFI) comme indice commun qui peut être calculé pour tous les appareils qui ont pris part à l'expérimentation. La démarche est fondée sur :

- une correction de vitesse de glissement fondée sur le modèle « Penn State » ;
- une correction empirique de macrotexture dépendant de l'appareil de mesure de frottement et de l'appareil de mesure de macrotexture ;
- une vitesse de glissement de référence égale à 60 km/heure.

La formule de calcul est la suivante :

$$IFI = F_{60} = A + (B \times FR_{60}) + C \times T_x$$

$$FR_{60} = FR_S \times e^{\frac{S-60}{S_P}}$$

$$S_P = a + b \times T_x$$

$$S(\text{km/h}) = \frac{G\%}{100} \times V(\text{km/h})$$

$$G \text{ (ou K)} = \frac{V - \omega R_e}{V} \times 100$$



avec

- $\omega$  : vitesse de rotation de la roue (rad/s) ;
- $R_e$  : rayon de la roue de mesure sous charge (m) ;
- $V$  : vitesse longitudinale (m/s) ;
- $FR_{60}$  : valeur du coefficient de frottement à 60 km/h ;
- $FR_S$  : valeur du coefficient de frottement à la vitesse  $S$  (km/h) ;
- $T_X$  : indice de texture mesuré ; les valeurs « a » et « b » dépendent de cet indice de macrotexture et de l'appareil ou de la méthode qui a permis de le mesurer. Deux indices peuvent être choisis : la profondeur moyenne de texture (PMT) ou la profondeur moyenne du profil (PMP).

Les paramètres A, B et C sont des constantes dépendant de l'appareil utilisé pour la mesure de frottement.

*Remarque* : le coefficient C est égal à 0 (zéro) pour les appareils qui utilisent un pneumatique lisse.

La valeur de l'IFI ( $F_{60}$ ) permet d'estimer les valeurs du coefficient de frottement pour différentes vitesses :

$$F_V = F_{60} \times e^{\frac{V-60}{S_p}}$$

Ainsi, il est nécessaire d'associer une mesure de macrotexture à toute mesure de frottement effectuée avec un appareil pour disposer des données qui permettent de comparer les informations fournies par chaque appareil.

### Étude du CRR (Centre de Recherches Routières belge)

Dans cette étude [6], un autre indice, qui peut être calculé par tous les appareils, est proposé. Il a la forme d'un IFI<sub>30</sub> et est appelé EFI « European Friction Index » (ou SRI « Skid Resistance Index ». Cet indice présente trois différences principales avec l'IFI :

- utilisation d'une vitesse de glissement de référence de 30 km/h au lieu de 60 km/h ;
- utilisation de deux lois uniques pour calculer le  $S_p$  ;
- abandon de la distinction entre pneus lisses et pneus rainurés.

La formule de calcul est la suivante :

$$EFI = F_{30} = A + (B \times FR_S \times e^{\frac{S-30}{S_p}})$$

avec

$$S_p = 57 + 56 \times PMP$$
$$\text{ou } S_p = 43 + 70 \times PMT$$

Dans laquelle :

- PMP est la profondeur moyenne du profil mesurée avec un profilomètre laser (norme EN ISO 13473-1) ;
- PMT est la profondeur moyenne de texture mesurée par une méthode volumétrique (norme EN 13036-1).

Cette étude confirme la nécessité d'associer une donnée de macrotexture à toute mesure de frottement pour calculer l'EFI.

## Étude européenne HERMES

L'application des procédures de calcul d'un indice commun a montré des dispersions importantes, inacceptables pour l'objectif d'harmonisation européenne. L'étude HERMES a été demandée par le FEHRL (« Forum of European national Highways Research Laboratories » ou FELRR « Forum Européen des Laboratoires de Recherche Routières »). Elle a été conduite sur la base d'un important ensemble de mesures (quinze appareils pour l'adhérence, neuf appareils pour la macrotexture, neuf campagnes de mesure) et visait à réduire ces dispersions [7]. Différents modèles développés pour analyser l'influence de la vitesse de glissement et pour calculer la valeur de correction à utiliser en fonction de la macrotexture ont été testés\*. Un cahier des charges pour un nouvel appareil de référence a été rédigé après une enquête conduite auprès des laboratoires du FEHRL. Des recherches préliminaires ont également été menées pour définir les caractéristiques de surfaces de référence.

L'étude n'a pas permis une amélioration vraiment significative des dispersions du fait, en particulier, d'une absence de contrôle métrologique préalable des appareils ayant participé aux essais croisés. Une deuxième étude HERMES 2 devrait être sans doute entreprise prochainement en tenant compte des éléments mis en évidence dans cette première étude.

## Conséquence sur la comparaison des appareils utilisés en France

Les études citées ont montré les limites de comparaison qui pourraient être faites entre les appareils Grip Tester, SCRIM et ADHERA.

En effectuant de façon périodique des campagnes de mesure avec les appareils Grip Tester et SCRIM, une loi de conversion en valeur  $CFT_{GN}$  est proposée par le LRPC de Lyon, mais l'incertitude sur cette valeur reste importante. La transformation des mesures ADHERA en valeur  $CFT_{ADHERA}$  est plus délicate pour deux raisons :

- la sensibilité différente des deux appareils à la vitesse,
- la « sensibilité » différente des deux appareils à la présence d'eau.

La figure 12 rappelle les différences de vitesses de glissement pour les appareils utilisés dans les LRPC. Une correction de la vitesse de glissement en utilisant le modèle AIPCR 1992 [5] ou les modèles HERMES (DWW ou LCPC [7]) ne suffit pas pour effectuer une comparaison correcte. En conséquence, en cas de contentieux, le résultat d'une mesure chiffrée doit toujours être rattaché à l'appareil qui a effectué la mesure.

## INTERPRÉTATION DES MESURES D'ADHÉRENCE

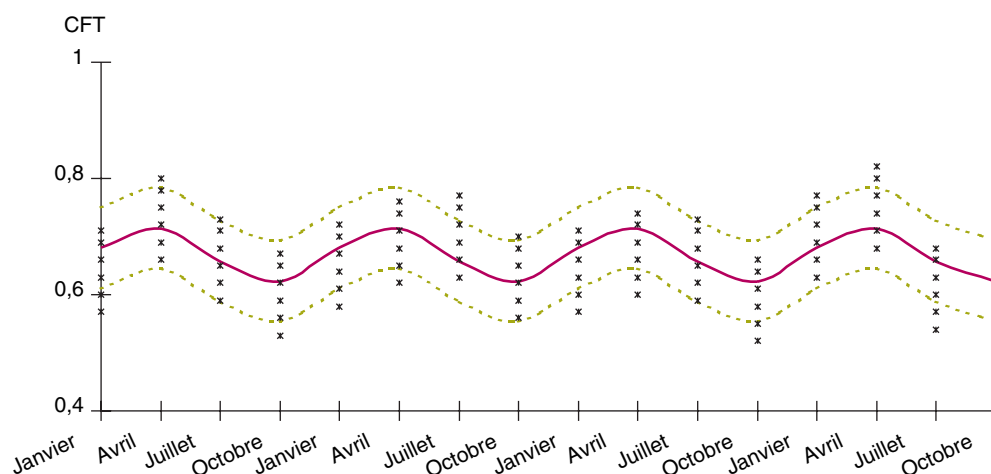
L'interprétation de l'évolution du résultat d'une mesure doit être faite avec précaution. En effet, il faut garder à l'esprit que :

- la répétabilité de l'appareil peut entraîner des variations importantes (4 % sur le CFL ADHERA, 5 % sur le CFT SCRIM et sur le CFL Grip Tester) ;
- l'hétérogénéité transversale des revêtements (très variable suivant la nature, l'âge des revêtements et le trafic supporté), peut entraîner des variations de 20 % sur le coefficient de frottement ;
- des variations saisonnières existent (maximum d'adhérence en mars-avril et minimum en septembre octobre pour la France), (variations pouvant atteindre 30 % sur le CFT ; Fig. 13).

Compte tenu des interprétations couramment données pour les mesures SCRIM, les précautions particulières suivantes ont été appliquées par le LRPC de Lyon :

- limitation du linéaire de mesure à 500 km pour un pneumatique d'essais ;
- réalisation de 10 km de frottement avant le début des mesures pour un pneu neuf ;
- débit de mouillage rendu constant sur l'intervalle de vitesse et indépendant de la quantité d'eau contenue dans la citerne ;
- mesures pendant la même période de l'année lorsque l'on effectue des suivis de réseaux ou de techniques particulières en fonction du temps ou du trafic supporté.

\* La présentation détaillée de ce travail ne fait pas partie des objectifs de cet article.



□ **Figure 13**  
Variation saisonnière du coefficient de frottement transversal.

## APPLICATION DES MESURES D'ADHÉRENCE ET DE TEXTURE

### Méthode d'essai n° 50 du LCPC, module M1

Il s'agit de la méthode d'essai [20] associée à la circulaire n° 2002-39 du 16 mai 2002 [21]. Cette circulaire est relative à l'adhérence des couches de roulement neuves et au contrôle de la macrotecture\*. Elle définit, pour ce champ d'application, les conditions de mesure et d'analyse des indicateurs de texture mesurés par la méthode à la tache, la méthode profilométrique et de frottement avec l'appareil ADHERA.

### Caractérisation d'adhérence de revêtements de chaussées routières

Il s'agit de mesures effectuées avec les appareils ADHERA depuis 1970 par les LRPC de Bordeaux, Lille et Lyon sur diverses sections choisies. Ces mesures sont enregistrées dans un fichier national nommé CARAT\*\* [22]. Les courbes de variation du CFL en fonction de la vitesse sont reportées dans un fuseau de référence, tous types de revêtements confondus, établi à partir de milliers de mesures effectuées sur des revêtements routiers français variés. La courbe haute est celle du 9<sup>e</sup> décile, c'est-à-dire que 10 % environ des revêtements français ont une adhérence supérieure à ce niveau ; la courbe basse est celle du 1<sup>er</sup> décile en dessous de laquelle se situent également 10 % des revêtements\*\*.

### Suivi d'un réseau

Il s'agit des applications principales du SCRIM équipé d'un RUGO et notamment pour le calcul de l'Indice Qualité du Réseau National (IQRN).

\* Voir article de Alain Bauduin et Pierre Dupont dans ce numéro.

\*\* Voir article de Yves Brosseau dans ce numéro.

## Expertise en zones dangereuses, où l'on constate une accumulation d'accidents

Les appareils conventionnels permettent de caractériser les revêtements en place et de déterminer si leurs performances se situent bien à un niveau correct, comparativement à la moyenne obtenue pour des sites comparables.

Ces mesures ne traduisent pas directement les conditions d'adhérence rencontrées par les usagers par suite des différences sensibles entre les pneumatiques utilisés pour les essais conventionnels et les pneumatiques du commerce\* et, aussi, par la condition de mouillage particulière appliquée.

### Application aux travaux de recherches

L'adhérence de la couche de roulement est un facteur important pour la sécurité. Cette importance justifie les recherches qui visent à :

- établir les liens entre l'adhérence et les matériaux constitutifs du revêtement ;
- établir les tendances dans les relations adhérence/accidents en fonction de facteurs géométriques d'état et d'usage de la route.

## CONCLUSION

La France, comme tous les pays dans le monde, a développé et met en œuvre des appareils de mesure de frottement et de texture. Les appareils français répondent bien aux besoins des gestionnaires de la route. Il convient de souligner l'attention particulière apportée à la qualité métrologique des instruments et au souci de réduire le plus possible les incertitudes opératoires et celles liées au contexte de la mesure.

Il a été clairement établi que les indications qu'ils apportent sont indispensables à la définition d'une stratégie d'entretien et à l'évaluation des performances des techniques routières.

Toutefois, dans le contexte européen actuel, la multiplicité et les différences entre les appareils des différents pays est une limitation aux échanges de données et d'informations dont chaque pays pourrait bénéficier.

Les études comparatives des appareils mettent en évidence le besoin de disposer des mêmes appareils pour assurer l'harmonisation européenne et faire en sorte que nos échanges, fondées sur des données comparables, soient fructueux.

### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] GOTHIE M., Influence de l'adhérence sur la sécurité routière, *Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, **185**, mai-juin 1993, pp. 27 à 32.
- [2] DELANNE Y., TRAVERT P., *Accident rates and road surface skidding properties : a literature survey*, ISATA Paper 97SAF005, Florence, June 1997.
- [3] WALLMAN C.-G., ASTROM H., Friction measurement methods and the correlation between road friction and traffic safety, *Report VTI meddelande 911A*, 2001, 47 pages.
- [4] Société MICHELIN, *Le pneu – L'adhérence*, Société de Technologie Michelin, septembre 2000, 92 pages.
- [5] WAMBOLD J.C., ANTLE C.E., HENRY J.J., RADO Z., DESCORNET G., SANDBERG U., GOTHIE M., HUSCHEK S., « Expérience internationale AIPCR pour comparer et harmoniser les mesures de frottement et de texture » (« International PIARC Experiment to Compare and Harmonize Skid Resistance and Texture Measurements »), *Publication AIPCR 01.04.T*, Paris, 1995, 423 pages.
- [6] DESCORNET G., *Proposal for a European standard in relation with the skid resistance of road surfacings*, Final report, Research contract SSTC NO/C3/004, Belgian Road Research Centre, Brussels, 1998.
- [7] DESCORNET G., SCHMIDT B., BOULET M., GOTHIE M., DO M.-T., FAFIE J., VAN DEN BOL M., ALONSO M., ROE P., FOREST R., VINER-HERMES H., *Final Report – FEHRL*, Report 2004/1, 358 pages.
- [8] WAMBOLD J.C., ANDRESEN A., YAGER T., MAZUR A., *International Runway Friction Index IRFI, SURF 2000*, Nantes, juin 2000, pp. 99-107.

\* Voir article de Yves Delanne dans ce numéro.

- [9] AFNOR, Norme NF EN 13036-4, *Caractéristiques de surface des chaussées routières et aéroportuaires – Méthode d’essais – Partie 4 : Méthode pour mesurer l’adhérence d’une surface : l’essai au Pendule*, CEN/TC 227/WG 5, août 2003, 20 pages.
- [10] Norme ASTM E 1844-96, *Standard Specification for a size 10 Y4-5 Smooth-Tread Friction Test Tyre*, ASTM Committee E-17, février 1997, 4 pages.
- [11] GRATIA G., Appareil VANI (véhicule d’analyse d’itinéraires) : un appareil multifonction pour les études de sécurité, *Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, Spécial XVII, juin 1995, pp. 69-74.
- [12] HO J.C., LOIR G., DELCOURT C., GOTHIE M., DELMULLE J.-P., LABOIS G., *Mode opératoire : Mesure d’un coefficient de frottement longitudinal avec l’appareil ADHERA 2*, juin 2001, 51 pages.
- [13] GOTHIE M., AIPCR Comité C1 : Spécifications d’un pneu standard pour la mesure d’un coefficient de frottement d’une surface de chaussée : le pneu lisse, novembre 2004, 10 pages. <http://www.piarc.org/en/publications/tech-report/>.
- [14] AFNOR, Norme NF P 98-220-2 : *Essais relatifs aux chaussées – Essais liés à l’adhérence – Partie 2 : Méthode permettant d’obtenir un coefficient de frottement longitudinal (adhérence longitudinale)*, novembre 1994, 7 pages.
- [15] GORAND J.-L., GOTHIE M., *Mode opératoire : Mesure d’un coefficient de frottement transversal avec l’appareil SCRIM*, octobre 1999, 40 pages.
- [16] AFNOR, Norme NF P 98-220-3, *Essais relatifs aux chaussées – Essais liés à l’adhérence – Partie 3 : Méthode permettant de mesurer le coefficient de frottement transversal entre un pneumatique de véhicule et la chaussée (adhérence transversale)*, juillet 1995, 6 pages.
- [17] AFNOR, Norme NF P 98-220-4, *Essais relatifs aux chaussées – Essais liés à l’adhérence – Partie 4 : Méthode permettant d’obtenir un coefficient de frottement transversal avec un appareil SCRIM*, décembre 1996, 6 pages.
- [18] AFNOR, Norme NF EN 13036-1, *Caractéristiques de surface des chaussées routières et aéroportuaires – Méthode d’essais – Partie 1 : Méthode volumétrique à la tache pour mesurer la macrotecture d’une surface de chaussée*, CEN/TC 227/WG 5, janvier 2002, 20 pages.
- [19] AFNOR, Norme NF EN ISO 13473-1, *Caractérisation de la texture d’un revêtement de chaussée à partir de relevés de profils – Partie 1 : détermination de la profondeur moyenne du profil*, AFNOR – ISO TC 43/SC 1/WG 39 et CEN/TC 227/WG 5, octobre 2004, 22 pages.
- [20] LCPC, *Mesure de l’adhérence des chaussées routières et aéronautiques*, ME 50, septembre 2002, 28 pages.
- [21] Ministère de l’Équipement des Transports et du Logement, du Tourisme et de la Mer, Direction des routes, *Circulaire n° 2002-39 du 16 mai 2002 relative à l’adhérence des couches de roulement neuves et au contrôle de la macrotecture*.
- [22] STASSE G., *Caractérisation d’adhérence de revêtement de chaussées routières*, Études et Recherches des Laboratoires des Ponts et Chaussées, LCPC, CR 25, mars 2000, 199 pages.

