



Rédacteurs :

- Pierre DUPONT - SETRA - Secrétaire du GNCDS et co-animateur du sous-groupe Adhérence
- Fabienne ANFOSSO-LEDEE – LCPC - Co-animatrice du sous-groupe Bruit
- Sonia DOISY – LRPC Strasbourg – Co-animatrice du sous-groupe Bruit par intérim
- Yves MEUNIER – USIRF – Co-animateur du sous-groupe Bruit
- Jean-Marc MARTIN - LCPC Nantes - Co-animateur du sous-groupe Uni Longitudinal
- Jean-Luc GAUTIER - COLAS S.A. - Co-animateur des sous-groupes Uni Longitudinal et Adhérence

et les membres des trois sous-groupes du GNCDS

**Méthodes de mesure des principales caractéristiques de surface
des revêtements de chaussée**

SOMMAIRE

0	INTRODUCTION	2
1	RAPPEL DES PRINCIPES GENERAUX	3
1.1	PROCÉDURE QUALITÉ – CERTIFICAT DE CONFORMITÉ	3
1.2	LES CENTRES VÉRIFICATEURS FRANÇAIS	3
1.3	CONTINUITÉ DES MESURES	4
2	UNI.....	6
2.1	MESURE DE L'UNI LONGITUDINAL	6
2.1.1	L'analyseur de profil en long : (APL).....	6
2.1.2	Le multiprofilomètre longitudinal : (MLPL).....	7
2.2	MESURE DE L'UNI TRANSVERSAL	8
2.2.1	Le transverso-profilomètre à ultrasons : (TUS).....	8
2.2.2	Le transverso-profilomètre à laser PALAS 2	9
2.2.3	Autres transverso-profilomètres à laser.....	10
3	ADHERENCE - TEXTURE	12
3.1	MESURE DE LA TEXTURE DE SURFACE	12
3.1.1	Méthode volumétrique : l'essai à la tache (PMT)	12
3.1.2	Méthode profilométrique : le RUGO 2 (PMP).....	13
3.2	MESURE DU FROTTEMENT LONGITUDINAL PNEUMATIQUE-CHAUSSÉE	14
3.2.1	L'ADHERA (CFL _A).....	14
3.2.2	Le GRIPTESTER (CFL _G)	15
3.2.3	Le pendule SRT (coefficient SRT).....	17
3.2.4	L'IMAG (CFL _I) pour pistes d'aéroports.....	18
3.3	MESURE DU FROTTEMENT TRANSVERSAL PNEUMATIQUE-CHAUSSÉE.....	19
3.3.1	Le SCRIM (CFT).....	19
4	BRUIT DE ROULEMENT.....	21
4.1	MESURE AU PASSAGE : MÉTHODE VÉHICULES ISOLÉS (VI)	21
4.2	MESURE EN CONTINU : MÉTHODE EN CHAMP PROCHE (CPX).....	22

0 INTRODUCTION

La présente note a pour objectif de définir le domaine d'emploi des appareils de mesure des principales caractéristiques de surface des chaussées aujourd'hui disponibles en France.

Elle a aussi pour but de clarifier le principe de la mesure, l'expression et la précision des résultats ainsi que la procédure métrologique appliquée pour chacun d'eux.

Elle précise en outre la manière d'assurer au mieux la continuité des mesures dans le cadre de suivis périodiques ou le raccordement de celles-ci à des bases de données existantes lorsque les mesures sont effectuées avec plusieurs appareils.

1 RAPPEL DES PRINCIPES GENERAUX

1.1 Procédure qualité – Certificat de conformité

De nombreux appareils sont disponibles pour évaluer les caractéristiques de surface des revêtements. Le choix dépend du type d'information souhaitée et des conditions extérieures de réalisation des essais (virage ou ligne droite, limitation de vitesse sur la route...). Une fois le choix d'un type d'appareil arrêté conformément aux spécifications d'utilisation, se pose la question de l'équivalence de résultats obtenus avec différents appareils d'un même modèle. En effet, plusieurs exemplaires d'un même appareil existent en France et seule une procédure stricte de suivi du matériel et de vérification de la formation des utilisateurs peut garantir l'équivalence des résultats entre deux appareils. Ceux-ci doivent être qualifiés par rapport aux méthodes d'essai des LPC (n° 46 version 2.0 pour l'uni longitudinal, n° 49 pour l'uni transversal, n° 50 version 2.0 pour l'adhérence et n° 63 version 2.0 pour le bruit de roulement) ainsi que par rapport aux normes d'essai NF, EN ou ISO appelées en référence dans ces méthodes.

1.2 Les centres vérificateurs français

Il existe un Centre Vérificateur par type d'appareil qui sert de référence et peut répondre aux différentes questions techniques concernant les conditions d'utilisation des appareils et les conditions de réalisation des essais (méthode, normes...). Ces centres réalisent également des contrôles métrologiques, organisent des essais croisés entre les appareils sur des pistes de référence, déterminant ainsi la répétabilité et la reproductibilité des appareils et délivrent un certificat de conformité, gage de bon fonctionnement des appareils et d'un niveau de formation suffisant des équipes de mesure. Ces essais ont lieu avec une périodicité de un ou deux ans selon l'appareil. Enfin, le centre vérificateur organise les essais de réception d'un nouvel appareil afin de contrôler la conformité de ce dernier par rapport à l'appareil de référence.

Pour un même matériel de mesure :

- La répétabilité reflète la dispersion des résultats d'essais obtenus par un même opérateur et un même appareil sur un même échantillon.
- La reproductibilité reflète la dispersion des résultats d'essais obtenus par des opérateurs et des appareils différents sur un même échantillon.

Les essais se déroulent en 5 étapes en analysant les résultats de manière statistique en application de la norme ISO 5725:

- ↗ Essais initiaux lors de la réception du matériel,
- ↗ Vérifications mécaniques et changement des pièces d'usure,
- ↗ Essais après réparation,
- ↗ Contrôles métrologiques,
- ↗ Essais croisés sur pistes.

Pour l'APL, outre les contrôles systématiques réalisés par les opérateurs avant une campagne de mesure, les vérifications périodiques assurées par le LRPC de Trappes consistent en des contrôles sur banc d'essais en statique tous les deux ans et des essais croisés sur route tous les ans.

Le MLPL, lorsque son utilisation sera généralisée, devra suivre une procédure similaire.

Pour les TUS, le centre vérificateur, qui est en train de se mettre en place, assurera des contrôles métrologiques (essais en statique) et des essais croisés sur route.

Les transverso-profilomètres lasers (PALAS 2 et autres) ne font pas pour le moment l'objet d'un contrôle périodique par un organisme indépendant des équipes de mesure.

Pour le RUGO 2, le contrôle métrologique et les essais croisés sont organisés par le LRPC d'Angers sur les planches du LCPC de Nantes.

Pour le pendule SRT, le LRPC de Lille est chargé des contrôles métrologiques périodiques.

Pour l'ADHERA, le centre vérificateur est géré par le LRPC de Lyon qui organise les essais et délivre le certificat de Conformité. La société VECTRA a en charge la vérification mécanique des appareils et le CECP de Rouen réalise le contrôle métrologique. Une fois ces vérifications réalisées, des essais sont organisés sur les planches de référence du LCPC de Nantes.

Pour le GRIPTESTER et le SCRIM, l'organisation et l'analyse des essais sont réalisés par le LRPC de Lyon. L'entretien mécanique du matériel est réalisé par le LRPC de Lyon ou la société VECTRA selon la nature de la panne.

Pour l'IMAG, le Service Technique de l'Aviation Civile (STAC) joue le rôle de centre vérificateur et organise régulièrement des essais croisés.

Pour le bruit, trois étapes seulement sont suivies aux cours des essais croisés, puisque les essais après changement de pièces d'usure et réparations sont réalisés au préalable et au cas par cas par chaque organisme de mesure concerné. De plus, il appartient à chaque organisme de mesure de réaliser les contrôles métrologiques périodiquement et après chaque modification significative de l'appareil.

Pour les équipements de mesure du bruit de roulement en continu, le LCPC est chargé de l'organisation des essais croisés qui ont lieu sur les planches de la piste de Nantes.

1.3 Continuité des mesures

Chaque appareil a des caractéristiques propres et une sensibilité particulière par rapport aux phénomènes qu'il permet d'apprécier. Des corrélations peuvent être établies entre différents appareils pour certaines gammes de valeurs mais elles ne sont pas nécessairement applicables sur toute la gamme de mesures. De plus, une corrélation entre deux séries de mesures est forcément entachée d'erreurs puisqu'on cherche à établir une relation simple (type relation linéaire) entre des mesures ayant elles-mêmes une certaine variabilité. Enfin, une corrélation est établie sur un nombre restreint de planches d'essais et elle ne peut donc pas être parfaitement représentative de la réalité.

Tous les équipements disponibles ne sont donc pas toujours utilisables pour des mesures à caractère contractuel. Il appartiendra au spécificateur de s'informer auprès des Laboratoires des Ponts et Chaussées (LPC) de celui ou ceux des appareils le(s) plus adapté(s) aux contrôles de conformité, et de leurs conditions d'utilisation.

Tout nouvel appareil et tout nouvel utilisateur doivent faire l'objet d'une procédure d'acceptation auprès du centre vérificateur correspondant, basée sur les points suivants :

- preuves de vérification métrologique régulière,
- éléments de corrélation entre les résultats fournis et ceux des matériels comparables existants décrits ci-après.

Pour analyser les caractéristiques de surface d'une chaussée, les matériels utilisés lors de la réception et les suivis dans le temps doivent fournir les mêmes indicateurs.

2 UNI

2.1 Mesure de l'uni longitudinal

2.1.1 L'analyseur de profil en long : (APL)



Principe

- Mesure des irrégularités de surface du profil en long de la chaussée à l'aide d'une ou deux remorques portant une roue palpeuse, par comparaison avec la référence horizontale d'un pendule inertiel.

Documents de référence

- NF P 98 218-3,
- Méthode d'essai LPC n° 46 version 2.0.

Expression des résultats

- Élévations du pseudo-profil en mm relevées tous les 5 cm,
- Notes par bandes d'onde comprises entre 0 et 10, calculées :
 - par segments de 20 m pour le domaine des petites ondes PO ($0,7 < \lambda < 2,8$ m),
 - par segments de 100 m pour le domaine des moyennes ondes MO ($2,8 < \lambda < 11,3$ m),
 - par segments de 200 m pour le domaine des grandes ondes GO ($11,3 < \lambda < 45,2$ m).

Incertitude de mesure

- Répétabilité : 1 point pour les PO,
0,5 point pour les MO et GO,
- Reproductibilité : en cours de détermination.

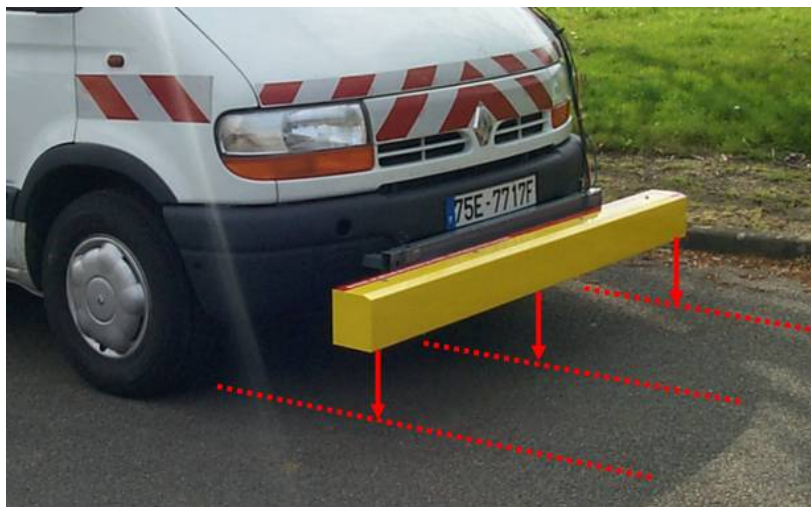
Domaines d'emploi

- Réception de couches de roulement et de couches intermédiaires.
- Suivi de réseaux

Commentaires

- Tous les LRPC et certains bureaux de contrôle sont équipés d'APL bi-trace.
- Chaque appareil fait l'objet d'une procédure annuelle de suivi métrologique.
- La mesure se fait à une vitesse de constante de 72 km/h, ce qui peut limiter son usage sur les couches de forme et de fondation, notamment en présence d'ouvrages transversaux.
- Le logiciel APL 2000 associé à ce matériel permet à la fois le dépouillement des mesures, l'interprétation des éventuels défauts et l'aide à leur correction.

2.1.2 Le multiprofilomètre longitudinal : (MLPL)



Principe

- Mesure des irrégularités de surface du profil en long de la chaussée à l'aide d'un dispositif sans contact (capteurs laser, accéléromètre et gyroscope).

Documents de référence :

- NF P 98 218-3,
- Méthode d'essai LPC n° 46 version 2.0.

Expression des résultats

- Élévations du pseudo-profil en mm relevées tous les 5 cm.
- Notes par bandes d'onde comprises entre 0 et 10, calculées :
 - par segments de 20 m pour le domaine des petites ondes PO ($0,7 < \lambda < 2,8$ m),
 - par segments de 100 m pour le domaine des moyennes ondes MO ($2,8 < \lambda < 11,3$ m),
 - par segments de 200 m pour le domaine des grandes ondes GO ($11,3 < \lambda < 45,2$ m).

Incertitude de mesure

- Répétabilité : 1 point pour les PO,
0,5 point pour les MO et GO.
- Reproductibilité : pas disponible compte tenu du nombre limité de matériels actuellement en service.

Domaines d'emploi

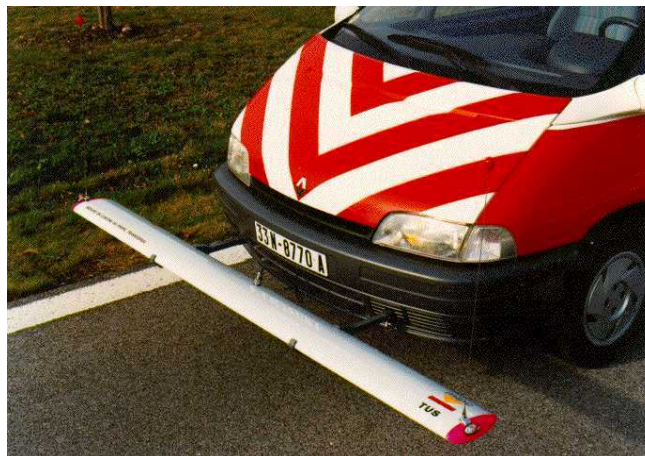
- Mesure sur les différentes couches de chaussée (forme, assise, surface).
- Suivi de réseaux.

Commentaires

- Deux MLPL existent actuellement (un en version tri-trace au LCPC, un en version bi-trace sur le véhicule AMAC[®] exploité par la société VECTRA).
- La procédure annuelle de suivi métrologique est en cours d'élaboration et s'apparentera à ce qui est fait pour l'APL. Les essais route seront les mêmes que ceux réalisés pour l'APL.
- Les mesures peuvent être effectuées à une vitesse de mesure variable, à partir de 30 km/h, ce qui confère à ce matériel une grande souplesse d'emploi.
- Les mesures ne peuvent pas être effectuées sur chaussée mouillée générant des projections (altération de la mesure laser).
- Le pas d'échantillonnage peut être adapté pour les mesures de mégatexture.
- Des études sont en cours pour que le MLPL soit utilisé pour l'évaluation de l'état des chaussées (par comparaison entre les résultats obtenus dans et entre les bandes de roulement).
- De récentes mesures comparatives entre APL et MLPL sur des couches de roulement neuves montrent une très grande similitude des résultats. Lorsque, d'une part plusieurs laboratoires seront équipés du MLPL et que des valeurs de répétabilité et de reproductibilité auront été établies et que, d'autre part, la circulaire 2000-36 du 22 mai 2000 de la Direction Générale des Routes aura été révisée, l'utilisation de ce matériel pourra être envisagée en réception de travaux.

2.2 Mesure de l'uni transversal

2.2.1 Le transverso-profilomètre à ultrasons : (TUS)



Principe

- Mesure à intervalles réguliers du profil en travers de la chaussée à l'aide de 13 capteurs à ultrasons espacés de 20 cm montés sur une règle rigide solidaire du véhicule.

Documents de référence :

- NF P 98 219-1 et NF P 98 219-3,
- Méthode d'essai LPC n° 49.

Expression des résultats

- Altitudes en mm délivrées par les 13 capteurs,
- Indicateurs de déformation transversale, notamment l'orniérage en mm.

Incertitude de mesure

- Répétabilité : 10 % de la valeur moyenne,
- Reproductibilité : 15 % de la valeur moyenne,
- La précision de la mesure, obtenue par comparaison avec une règle de 1,50 m, est de 20 % de la valeur mesurée, avec un minimum de 2 mm.

Domaines d'emploi

- Évaluation sommaire de réseau, à vitesse variable (jusqu'à 110 km/h),
- Aide aux études d'entretien,
- Contribution à l'évaluation des besoins de reprofilage sur routes secondaires et réception de ces travaux.

Commentaires

- Le TUS est disponible dans tous les LRPC et certains bureaux de contrôle.
- Chaque appareil de ce type fait l'objet d'une procédure qualité permettant de s'assurer du bon fonctionnement de l'appareil. Cette procédure est réalisable par l'opérateur lui-même.
- A 90 km/h, le TUS enregistre un profil tous les 3 mètres.
- La largeur de mesure étant limitée à 2.40 m, il est recommandé d'effectuer deux passages pour couvrir la totalité de la largeur de la voie de circulation.
- Les mesures sont invalides sur chaussée mouillée générant des projections (altération de la mesure ultrasons).
- La précision de la mesure peut être affectée par une trop forte macrotexture (enduits superficiels, arrachements ou désenrobage).

2.2.2 Le transverso-profilomètre à laser PALAS 2



Principe

- Mesure à intervalles réguliers du profil en travers de la chaussée à l'aide d'un dispositif optique et d'enregistrement permettant d'observer avec deux caméras une ligne transversale générée par une nappe laser.

Documents de référence :

- NF P 98 219-1 et NF P 98 219-2,
- Méthode d'essai LPC n° 49.

Expression des résultats

- Altitudes en mm délivrées sur 175 points sur une largeur de 3,50 m,
- Indicateurs de déformation transversale, notamment l'orniérage en mm.

Incertitude de mesure

- Répétabilité : 6 % de la valeur moyenne,
- Reproductibilité : non disponible,
- La précision de la mesure, obtenue par comparaison avec une règle de 1,50 m, est de 10 % de la valeur mesurée, avec un minimum de 1 mm.

Domaines d'emploi

- Évaluation de réseau, à vitesse variable (jusqu'à 110 km/h),
- Diagnostic précis de section.

Commentaires

- PALAS 2 existe en version unique au LRPC d'Autun. Sa maintenance étant difficile à assurer, une nouvelle version est en cours d'étude.
- L'appareil fait l'objet d'une procédure qualité permettant de s'assurer de son bon fonctionnement. Cette procédure est réalisable par un opérateur habilité.
- A 90 km/h, PALAS 2 enregistre un profil tous les 10 mètres.
- PALAS 2 mesure aussi les éléments géométriques de la route (dévers, pente, rayon de courbure), tous les mètres.
- Les mesures sont invalides sur chaussée mouillée, et par temps fortement ensoleillé

2.2.3 Autres transverso-profilomètres à laser



Principe

- Mesure à intervalles réguliers du profil en travers de la chaussée à l'aide d'un dispositif optique et d'enregistrement permettant d'observer avec deux caméras une ligne transversale générée par une nappe laser.

Documents de référence

- NF P 98 219-1 et NF P 98 219-2.

Expression des résultats

- Altitudes en mm délivrées sur 1280 points sur une largeur de 4 m,
- Indicateurs de déformation transversale, notamment l'orniérage en mm.

Incertitude de mesure

- Répétabilité : non disponible,
- Reproductibilité : non disponible,
- La précision de la mesure est de ± 1 mm.

Domaines d'emploi

- Évaluation de réseau, à vitesse variable (de 15 à 100 km/h),
- Diagnostic précis de section.

Commentaires

- Cet appareil, basé sur une technologie d'origine québécoise, équipe plusieurs véhicules d'opérateurs privés.
- L'appareil fait l'objet d'une procédure qualité permettant de s'assurer de son bon fonctionnement. Cette procédure est réalisable par l'opérateur lui-même.
- Selon les versions, cet appareil permet l'acquisition d'un profil avec un pas compris entre 20 cm et 1 m à la vitesse de 90 km/h.
- L'appareil peut aussi mesurer les éléments géométriques de la route (dévers, pente, rayon de courbure).
- Les mesures sont perturbées sur chaussée mouillée.

3 ADHERENCE - TEXTURE

3.1 Mesure de la texture de surface

3.1.1 Méthode volumétrique : l'essai à la tache (PMT)

Principe

- Araser un volume connu V de billes de verre calibrées sur chaussée puis déterminer la surface couverte S, la PMT étant déterminée par le rapport V/S.

Documents de référence

- NF EN 13036-1,
- Méthode d'essai LPC n° 50 version 2.0.

Expression des résultats

- PMT : Profondeur Moyenne de Texture, exprimée en mm.
- La gamme des résultats ponctuels observés est de 0,3 à 3 mm, selon les techniques routières et l'état de la couche de roulement.

Incertitude d'essai

- Répétabilité : 12% de la valeur mesurée sur un lot (25 mesures minimum pour une longueur de 1.000 mètres maximum),
- Reproductibilité : 17% sur le même lot, par rapport à des valeurs de PMT comprises entre 0,5 et 1,3 mm

Domaines et limites d'emploi

- Réception de couches de roulement.
- Évaluation de planches particulières ou couches de roulement provisoires.
- Calage de mesures profilométriques sur un revêtement.
- Une $PMT \leq 0,2$ mm n'a pas de signification.
- Les mesures sont faussées sur des enrobés venant d'être appliqués et encore chauds (problème de collage des billes).
- Elles nécessitent une surface de chaussée sèche et propre.
- Elles ne sont pas significatives sur enrobés drainants.

Précautions particulières

- Pour des essais sur chaussée en service, mettre en place une signalisation importante de manière à assurer la sécurité des intervenants et enlever (avec un aspirateur) les billes de verre des voies de circulation après mesure (risque de glissance).
- En cas de vent, protéger le point de mesure.

Commentaires

- La PMT nécessite un grand nombre de mesures pour donner une appréciation significative de la macrotecture d'un revêtement.
- La reproductibilité de cet essai est médiocre, car elle dépend fortement de l'opérateur, la norme ne spécifiant pas suffisamment le palet (matériau et diamètre), le nombre de tours et la pression à exercer.

3.1.2 Méthode profilométrique : le RUGO 2 (PMP)



Principe

- Mesure de la distance appareil-chaussée, à fréquence élevée (16 000 Hz).
- Traitement statistique des mesures pour le calcul de la macrotexture.

Documents de référence

- NF EN ISO 13473-1,
- Méthode d'essai LPC n° 50 version 2.0.

Expression des résultats

- PMP : Profondeur Moyenne de Profil, exprimée en mm.
- PTE : Profondeur de Texture Équivalente, pour exprimer les résultats de macrotexture déduits des mesures profilométriques, exprimée en mm.
- La méthode d'essai des LPC n° 50 version 2.0 recommande d'utiliser la relation :

$$\text{PTE} = 1,1 \times \text{PMP}$$

- Les valeurs sont fournies en continu au pas de 10 m ou 20 m.

Incertitude de mesure

- Répétabilité : 0,08 sur un lot,
- Reproductibilité : 0,14 sur le même lot,
par rapport à des valeurs de PMP comprises entre 0,60 et 1,40 mm

Domaines et limites d'emploi

- Réception de couches de roulement.
- Évaluation de planches particulières.
- Suivi de réseaux.
- Analyse de sections accidentogènes.
- Mesures entre 30 et 100 km/h selon l'état de l'uni et le trafic.
- Mesures faussées sur enrobés neufs (moins de 10 jours) et sur chaussées humides ou mouillées.
- Mesures non significatives sur couches de roulement drainantes.

Commentaires

- Le RUGO 2 (application de la nouvelle norme européenne) remplace désormais le RUGO 1 (utilisation de l'ancienne norme française). Les PMP fournies par les deux appareils sont identiques, ce qui permet d'assurer la continuité ou le raccordement des mesures.
- Près d'une vingtaine de RUGO 2 est actuellement employée en France.
- Chaque appareil de ce type fait l'objet d'une procédure annuelle de suivi métrologique.

3.2 Mesure du frottement longitudinal pneumatique-chaussée

3.2.1 L'ADHERA (CFL_A)



Principe

- Mesure sur chaussée mouillée avec une roue bloquée, équipée d'un pneu lisse AIPCR et chargée à 250 daN.

Documents de référence

- NF P 98 220-2,
- Méthode d'essai LPC n° 50 version 2.0.

Expression des résultats

- CFL_A : Coefficient de Frottement Longitudinal ADHERA, à différentes vitesses d'essai.
- Coefficient sans dimension compris généralement entre 0 et 1.
- Tableau récapitulatif des CFL_A obtenus pour chaque vitesse d'essai retenue.
- Courbe CFL_A = f (vitesse), tracée soit dans un fuseau de référence tous revêtements français confondus, soit dans un fuseau de référence pour une technique donnée.

Incertitude de mesure

- Répétabilité : 0,044,
- Reproductibilité : 0,065,
par rapport à des valeurs de CFL_A comprises entre 0,20 et 0,70.

Domaines d'emploi

- Réception de couches de roulement.
- Utilisation en relatif pour les sections déclarées "limites" par la PMT.
- Analyse de sections accidentogènes.
- Évaluation et suivi de revêtements particuliers.

Commentaires

- Les mesures sont réalisées à 3 vitesses d'essai (par exemple 40, 60 et 90 km/h sur route et 60, 90, 120 km/h sur autoroute en section courante). La hauteur d'eau utilisée est d'environ 1 mm.
- Mesures recommandées pour des relevés sur des zones ponctuelles, mais pas très adaptées pour des relevés en continu (suivi de réseaux).
- Trois appareils ADHERA existent en France aux LRPC de Bordeaux, Lille et Lyon. Ils font l'objet d'une procédure annuelle de suivi métrologique. De plus, un ADHERA recherche est en cours de mise au point au LRPC de Lyon. Il est capable de réaliser des mesures de CFL de 0 à 100 % de glissement. Cette possibilité permet d'évaluer le niveau d'adhérence maximum pouvant être procuré par une surface de chaussée. Ce niveau maximum est très intéressant du fait que tous les véhicules neufs sont maintenant équipés d'un système de freinage anti-bloquant, permettant de l'utiliser.
- Les mesures sont pratiquées avec les pneus lisses AIPCR (165R15) de la série 1998, qui remplacent progressivement ceux de la série 1990. Les résultats obtenus avec ces deux séries sur toutes les surfaces sont similaires, ce qui assure la continuité ou le raccordement des mesures.
- Comme tous les appareils mesurant un frottement sur une chaussée ouverte à la circulation et soumise aux aléas climatiques, la mesure est sensible aux variations saisonnières de l'adhérence. Pour limiter cet effet, il est recommandé pour un suivi dans le temps de réaliser les mesures à la même période de l'année, hors période de viabilité hivernale.

3.2.2 Le GRIPTESTER (CFL_G)



Principe

- Mesure en continu sur chaussée mouillée avec une petite roue à un taux nominal de glissement de 14 %, équipée d'un pneu lisse ASTM et chargée à environ 25 daN.

Documents de référence

- NF P 98 220-2,
- Méthode d'essai LPC n° 50 version 2.0.

Expression des résultats

- CFL_G : Coefficient de Frottement Longitudinal Griptester, à différentes vitesses d'essai.
- Coefficient sans dimension compris généralement entre 0 et 1.
- Listage des CFL_G mesurés en continu avec l'information vitesse.

Incertitude de mesure

- Répétabilité : 0,035
- Reproductibilité : 0,101 pour le Griptester ancienne génération Mk1,
0,079 pour le Griptester nouvelle génération Mk2,
par rapport à des valeurs de CFL_G comprises entre 0,10 et 1,10.

Domaines d'emploi

- Mesures en milieu urbain.
- Mesures sur routes pour de courtes sections ou de faibles gabarits.
- Évaluation des marquages routiers.

Commentaires

- Les mesures sont réalisées à des vitesses d'essai comprises entre 5 et 40 km/h. Dans cette gamme de vitesses, le CFL_G est peu sensible à la vitesse d'essai.
- La faible vitesse de glissement de la roue, de 1 à 5 km/h, rend la mesure très sensible à la microtexture du revêtement testé.
- Les mesures peuvent être effectuées soit en version poussée (environ 5 km/h) soit en version tractée (au maximum 40 km/h). La version poussée de l'appareil peut être utilisée pour de petites surfaces (marquages routiers, voies piétonnes, dallages, etc.).
- La vitesse d'essai est limitée à 40 km/h pour limiter l'influence des déformations de la route sur les mesures par délestage de la roue, la suspension de la petite remorque étant très sommaire en particulier sur le Mk1.
- Le principe de fonctionnement est identique entre les deux générations de matériel Mk1 et Mk2, seule diffère la suspension des remorques.
- Le CFL_G 40 km/h et CFL_A 40 km/h ne sont pas comparables, les mesures étant effectuées selon des principes différents.
- Le GRIPTESTER fournit un CFL et non un CFT (cf. § 3.3.). Cependant, une corrélation peut exprimer le CFL_G obtenu en équivalent CFT à condition que cette corrélation soit justifiée à partir d'une campagne de mesures GRIPTESTER et SCRIM réalisée sur un échantillon représentatif des revêtements rencontrés.
- Plusieurs appareils GRIPTESTER sont actuellement utilisés en France.
- Une procédure de suivi métrologique et d'essais croisés est mise en œuvre tous les deux ans avec ces matériels.
- Comme tous les appareils mesurant un frottement sur une chaussée ouverte à la circulation et soumise aux aléas climatiques, la mesure est sensible aux variations saisonnières de l'adhérence. Pour limiter cet effet, il est recommandé pour un suivi dans le temps de réaliser les mesures à la même période de l'année, hors période de viabilité hivernale.

3.2.3 Le pendule SRT (coefficient SRT)



Principe

- Mesure ponctuelle sur chaussée mouillée avec un patin bloqué.

Documents de référence

- NF EN 13036-4,
- Méthode d'essai LPC n° 50 version 2.0.

Expression des résultats

- Coefficient SRT : Coefficient de frottement longitudinal SRT.
- La vitesse équivalente du bras du pendule portant le patin de caoutchouc de 76,2 par 25,4 mm est d'environ 10 km/h. Plus l'adhérence rencontrée par le patin est élevée et moins le bras du pendule remonte après frottement.
- Pour une surface donnée, la valeur du coefficient SRT est égale à la moyenne de 5 points de mesures élémentaires avec la réalisation sur chacun de 5 lâchers.

Incertitude de mesure

- Répétabilité : 7 %,
- Reproductibilité : 16 %, par rapport à des valeurs de SRT comprises entre 54 et 72.

Domaines d'emploi

- Utilisation en milieu urbain.
- Suivi de revêtements particuliers.

Commentaires

- La faible vitesse de glissement de l'appareil rend la mesure très sensible à la microtexture du revêtement testé.
- Cet appareil est aussi utilisé en laboratoire pour déterminer le coefficient de polissage accéléré (PSV) des gravillons destinés aux couches de roulement. Il est dans ce cas équipé d'un patin plus petit.
- Chaque appareil de ce type fait l'objet d'une procédure annuelle de suivi métrologique.

- Cet appareil n'est pas adapté pour des mesures sur des surfaces trop grossières (gros enduits superficiels par exemple).

3.2.4 L'IMAG (CFL_I) pour pistes d'aéroports



Principe

- Mesure en continu sur piste d'aéroport mouillée avec une roue freinée suivant un taux nominal de glissement de 15 %, équipée d'un pneu lisse AIPCR et chargée à 185 daN. Le taux de glissement peut être choisi entre 5 et 99%.

Documents de référence

- NF P 98 220-2,
- Méthode d'essai LPC n° 50 version 2.0,
- Annexe 14 OACI, Arrêté TAC du 10 juillet 2006.

Expression des résultats

- CFL_I : Coefficient de Frottement Longitudinal IMAG, à différentes vitesses d'essai.
- Coefficient sans dimension compris généralement entre 0 et 1.
- Graphique des CFL_I en fonction de la distance parcourue pour chaque vitesse d'essai retenue.

Incertitude de mesure

- Répétabilité : non disponible,
- Reproductibilité : non disponible.

Domaine d'emploi

- Suivi des pistes au niveau fonctionnel : suivi périodique (gestionnaire),
- Suivi des pistes au niveau opérationnel : suivi journalier à la demande (opérationnel).

Commentaires

- Les mesures périodiques fonctionnelles sont effectuées sur piste d'aéroports, réglementairement, en continu à 3 vitesses d'essai (40, 65 et 95 km/h). La hauteur d'eau utilisée est de 1 mm (débit contrôlé).
- Ces mesures sont réalisées uniquement sur des pistes d'aéroports. L'utilisation envisageable sur chaussées routières ou autoroutières n'a pas pour l'instant fait l'objet de caractérisations.

- Plusieurs IMAG sont utilisés actuellement en France. Chaque appareil fait l'objet d'une procédure annuelle de suivi métrologique.
- Pour une utilisation fonctionnelle l'IMAG doit faire l'objet tous les deux ans, d'un raccordement à l'appareil de référence du Service Technique de l'Aviation Civile (agrément du STAC). Son utilisation fonctionnelle peut faire l'objet d'une accréditation COFRAC Essai pour les intervenants.
- Les mesures périodiques fonctionnelles sont pratiquées avec les pneus lisses AIPCR (165R15) de la série 1998.
- Comme tous les appareils mesurant un frottement sur une surface circulée soumise aux aléas climatiques, la mesure est sensible aux variations saisonnières de l'adhérence. Pour limiter cet effet, il est recommandé pour un suivi dans le temps de réaliser les mesures à la même période de l'année ou de quantifier dans l'incertitude de mesure l'effet de ce paramètre.
- L'IMAG est par ailleurs aussi utilisé avec un pneumatique rainuré AIPCR (165R15) en conditions réelles (utilisation opérationnelle) de mouillage, de glace ou de neige pour fournir aux pilotes d'avions les conditions d'adhérence de la piste d'atterrissage.
- Les systèmes de mesures équipant l'IMAG permettent la détection de contaminant présent sur la chaussée.

3.3 Mesure du frottement transversal pneumatique-chaussée

3.3.1 Le SCRIM (CFT)



Principe

- Mesure en continu sur chaussée mouillée avec une roue faisant un angle de 20° avec la direction de la vitesse, chargée à 200 daN et équipée d'un pneumatique d'essai lisse défini par la norme anglaise BS 7941-1.

Documents de référence

- NF P 98 220-4,
- Méthode d'essai LPC n° 50 version 2.0.

Expression des résultats

- CFT : Coefficient de Frottement Transversal à une vitesse d'essai.
- Présentation graphique des résultats de mesure en continu.
- Valeur moyenne du CFT et son écart-type pour la section de mesure.
- Histogramme des CFT obtenus.

Incertitude de mesure

- Répétabilité : 0,047,
- Reproductibilité : 0,066,
par rapport à des valeurs de CFT comprises entre 0,40 et 0,90.

Domaines d'emploi

- Réception de couches de roulement.
- Analyse de sections accidentogènes.
- Suivi de réseaux.
- Évaluation de revêtements particuliers.

Commentaires

- La mesure est très sensible à la microtexture du revêtement testé, du fait de la faible vitesse de glissement utilisée par l'appareil (20,4 km/h pour une vitesse d'essai de 60 km/h) et de la forte pression de contact du pneumatique d'essai. La hauteur d'eau est de l'ordre de 0,5 mm.
- Trois SCRIM sont actuellement disponibles en France, (deux exploités par le LRPC de Lyon et un par la société VECTRA). Ils font l'objet d'une procédure annuelle de suivi métrologique.
- L'importante réserve d'eau embarquée donne la possibilité à cet appareil de réaliser un relevé des CFT à grand rendement.
- Équipé du module RUGO 2, il peut aussi mesurer dans la même trace un indicateur du niveau de macrotexture de la surface testée. Les deux mesures effectuées simultanément permettent ainsi une bonne évaluation de l'adhérence du revêtement (microtexture et macrotexture).
- Du fait de son gabarit, camion de 19 tonnes, ce matériel ne peut pas toujours être utilisé sur des sections de routes très étroites.
- Comme tous les appareils mesurant un frottement sur une chaussée ouverte à la circulation et soumise aux aléas climatiques, la mesure est sensible aux variations saisonnières de l'adhérence. Pour limiter cet effet, il est recommandé pour un suivi dans le temps de réaliser les mesures à la même période de l'année, hors période de viabilité hivernale.

4 BRUIT DE ROULEMENT

4.1 Mesure au passage : méthode véhicules isolés (VI)



Principe

- Mesure ponctuelle du niveau sonore maximal au passage de véhicules isolés dans le trafic, le microphone étant disposé à 1,20 m de hauteur et distant de 7,50 m de l'axe de la voie.

Document de référence

- NF EN ISO 11819-1

Expression des résultats

- $L_{Amax V_{ref}}$: Niveau sonore maximal en dB(A) au passage de véhicules d'une catégorie donnée, ramené à une vitesse de référence V_{ref} et à une température de 20°C. V_{ref} est de 90 km/h pour les VL et de 80 km/h pour les PL.
- Spectre : graphique du niveau sonore maximal $L_{Amax V_{ref}}$ en fonction de la fréquence (par tiers d'octaves entre 100 et 5000 Hz)

Incertitude de mesure

- Répétabilité : 1 dB(A)
- Reproductibilité : 1,5 dB(A)

Domaines d'emploi

- Caractérisation acoustique de revêtements de chaussée.
- Réception de couches de roulement neuves.
- Diagnostic acoustique ponctuel d'un revêtement.
- Cette méthode est préconisée pour la caractérisation des performances acoustiques des revêtements de chaussée selon la note CFTR n°20 (à paraître début 2010).
- La mesure permet d'obtenir des valeurs d'émission sonore pour la prévision des niveaux sonores dans l'environnement définie dans le « Guide Méthodologique - Prévision du Bruit Routier » (SETRA juin 2009).

Commentaires

- La norme impose des conditions de site très contraignantes qui rendent son application quasi impossible en milieu urbain.
- Plusieurs LRPC sont actuellement équipés pour la pratique de ces mesures.
- Chaque appareil constituant la chaîne de mesure fait l'objet d'une procédure de suivi métrologique périodique.
- Possibilité d'évaluer à partir du L_{Amax} et par le calcul le bruit en façade d'immeubles (L_{Aeq}) à une distance donnée de l'axe de la chaussée.
- L'ancienneté de la méthode a généré une base de données importante gérée par le LRPC de Strasbourg, dont l'exploitation statistique est publiée régulièrement.

4.2 Mesure en continu : méthode en champ proche (CPX)



Principe

- Mesure en continu du niveau sonore émis par le pneumatique d'un véhicule d'essai en circulation, deux microphones étant placés à 20 cm du flanc du pneumatique et 10 cm au-dessus de la chaussée, le troisième étant situé à 80 cm à l'arrière du pneumatique et 15 cm au-dessus de la chaussée.

Documents de référence

- XP S 31-145-1 (mesure d'expertise),
- XP S 31-145-2 (mesure à grand rendement, à paraître en 2010),
- Méthode d'essai LPC n° 63 version 2.0.

Expression des résultats

- $L_{A \text{ continu}, X_m, V_{ref}}$: niveau sonore moyen en dB(A) mesuré sur une longueur donnée X_m , ramené à une vitesse de référence V_{ref} et à une température de 20°C.
- Homogénéité acoustique : écart type des niveaux sonores moyens $L_{A \text{ continu}, X_m, V_{ref}}$ sur la section de mesure,

- Spectre : graphique du niveau sonore moyen $L_{A \text{ continu}, X_m, V_{ref}}$ en fonction de la fréquence (par tiers d'octaves entre 315 et 5.000 Hz)

Incertitude de mesure

- Répétabilité : 0,6 dB(A) pour la mesure d'expertise,
1,1 dB(A) pour la mesure à grand rendement.
- Reproductibilité : 1,4 dB(A) pour la mesure d'expertise,
2,0 dB(A) pour la mesure à grand rendement.

Domaines d'emploi

- Réception de couches de roulement neuves.
- Homogénéité du revêtement en matière de performances acoustiques.
- Comparaison des performances acoustiques des revêtements routiers entre eux.
- Diagnostic et suivi dans le temps des performances acoustiques des revêtements d'un itinéraire donné.
- Cette méthode est préconisée pour la vérification et le suivi dans le temps des performances acoustiques des revêtements de chaussée selon la note CFTR n°20.

Commentaires

- Cette méthode de mesure est bien adaptée pour le milieu urbain.
- Une dizaine d'appareils sont actuellement disponibles en France dans certains LRPC et bureaux de contrôle pour la pratique de ces mesures.
- Le matériel de mesure (véhicule, pneumatique, capteurs, protections et systèmes de montage) doit faire l'objet d'une qualification initiale approfondie, ainsi que d'une vérification au moins annuelle sur planche de référence.
- Cette méthode est d'utilisation récente et ses résultats ne sont représentatifs que du bruit de roulement émis par les véhicules légers.
- Pour assurer la continuité des mesures de bruit de roulement en continu sur un même site, il est souhaitable que les appareils utilisés soient de même type. De plus, la fiabilité des mesures de suivi dans le temps sera améliorée si un même appareil est utilisé.