

**IDRRIM
GNCDS**

L'adhérence des chaussées

Guide technique

Version fin réunion du 23 septembre 2013
Révision après première enquête

Rédacteurs (sous-groupe adhérence)

Table des matières

CHAPITRE 1 - INTRODUCTION	7
CHAPITRE 2 - DOMAINE D'EMPLOI	8
CHAPITRE 3 - RECOMMANDATIONS	9
3/ 1 : PREAMBULE SUR L'ADHERENCE	9
3/ 2 : CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DE LA CHAUSSEE.....	9
3/ 2 .1 Influence de l'uni longitudinal	9
3/ 2 .2 Influence du profil en travers	9
3/ 2 .3 Incidence des accumulations d'eau sur la chaussée	9
3/ 2.3.1 Incidence sur le contact pneu-chaussée.....	9
3/ 2.3.2 Cas de la construction ou de l'entretien d'une chaussée	11
3/ 2.3.3 Cas d'entretien localisé d'une chaussée.....	12
3/ 2.3.4 Illustration de cas concrets.....	12
3/ 3 : INFLUENCE DU CHOIX DU REVETEMENT.....	14
3/ 3.1 Définition et rôle de la macrotecture	14
3/ 3.2 Définition et rôle de la microtexture	15
3/ 3.3 Choix du revêtement	16
CHAPITRE 4 - EVALUATION DE L'ADHERENCE DES CHAUSSEES.....	18
4/ 1 : INTRODUCTION.....	18
4/ 2 : MESURES CONVENTIONNELLES DE FROTTEMENT	18
4/ 2.1 Mesure du frottement longitudinal	19
4/ 2.1.1 L'Adhera	19
4/ 2.1.2 Griptester.....	20
4/ 2.1.3 Pendule SRT.....	22
4/ 2.1.4 IMAG.....	22
4/ 2.2 Mesure du frottement transversal	23
4/ 2.2.1 SCRIM.....	23
4/ 2.3 Autres appareils	24
4/ 2.4 La machine Wehner et Schulze	27
4/ 3 : MESURES CONVENTIONNELLES DE LA TEXTURE DE SURFACE.....	28
4/ 3.1 Méthode volumétrique : l'essai à la tâche (PMT)	28
4/ 3.2 Méthodes optiques	29
4/ 3.2.1 Le RUGO 2	29
4/ 3.2.2 Autres méthodes optiques.....	30
4/ 4 : LE CONTROLE DES MOYENS DE MESURES AU TRAVERS DES CENTRES VERIFICATEURS	32
4/ 4.1 Procédure qualité – Certificat de conformité	32
4/ 4.2 Les centres vérificateurs français	32
4/ 4.3 Continuité des mesures	33
4/ 5 : METHODE DE RECEPTION DES COUCHES DE ROULEMENT	33
4/ 5.1 Méthode profilométrique	33
4/ 5.2 Méthode de réception des couches de roulement neuves	34
CHAPITRE 5 –PRECONISATIONS.....	36
5/ 1 : INTRODUCTION.....	36
5/ 2 : LA DEMANDE D'ADHERENCE.....	36
5/ 3 : VALEURS RECOMMANDEES	37
5/ 4 : POINTS SINGULIERS.....	38
5/ 5 : CAS DES COUCHES DE ROULEMENT PROVISOIRES	38
5/ 6 : L'OFFRE D'ADHERENCE	38
5/ 6.1 Caractéristiques des granulats	39
5/ 6.2 Adéquation demande-offre d'adhérence	40
5/ 6.3 Revêtements à faible granularité (< 5 mm)	43
5/ 6.4 Traitement des points singuliers	43
5/ 6.5 Techniques d'amélioration de l'adhérence	43
CHAPITRE 6 – REGLES DE L'ART ET ADHERENCE	45

6/1 CONSTITUANTS	45
6/1.1 Granulats	45
6/1.2 Agrégats d'enrobés recyclés	45
6/1.3 Liants	45
6/2 FORMULATION DES PRODUITS	45
6/2.1 Enrobés bitumineux	45
6/2.2 Enrobés coulés à froid (ECF)	46
6/2.3 Enduits superficiels d'usure (ESU)	46
6/3 FABRICATION DES ENROBES BITUMINEUX	46
6/4 STOCKAGE	47
6/5 TRANSPORT	47
6/6 MISE EN ŒUVRE ET REMISE EN CIRCULATION.....	47
6/6.1 Enrobés	47
6/6.2 Enrobés coulés à froid	49
6/6.3 Enduits superficiels	49
6/6.3.1 Granulats.....	49
6/6.3.2 Mise en œuvre.....	49
6/7 SYNTHÈSE : INFLUENCE DES PARAMÈTRES SUR LA MACROUGOSITÉ DES ENROBES ? ... Erreur ! Signet non défini.	
ANNEXE - CLAUSES CONTRACTUELLES	50
1 : CLAUSES CONTRACTUELLES POUR LE CAHIER DES CLAUSES ADMINISTRATIVES (CCAP).....	50
2 : CLAUSES CONTRACTUELLES POUR LE CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIÈRES (CCTP).....	50
2.1 Méthode de contrôle de réception des couches de roulement neuves	50
2.2 Période de réalisation de la réception de la macrotecture	51
2.3 Définition des lots	51
2.4 Spécifications	53
Bibliographie	56

INDEX DES FIGURES

<i>Figure 1 : Représentation des trois zones (S1, S2, S3) dans l'empreinte de contact en présence d'eau.</i>	10
<i>Figure 2 : Influence de l'usure d'un pneumatique sur la dimension de sa zone de contact sous 1 mm d'eau.</i>	10
<i>Figure 3 : Conséquences de problèmes d'uni (Sources Département Laboratoire de St Briec et Charier SA).</i>	12
<i>Figure 4 : Epi drainant sur couche de liaison (Source Département Laboratoire de Saint Briec).</i>	13
<i>Figure 5 : Résurgence d'eau sur couche de liaison.</i>	13
<i>Figure 6 : Schéma descriptif de la macrotexture (CFTR).</i>	14
<i>Figure 7 : Schéma de la microtexture (Sétra).</i>	15
<i>Figure 8 : Rôles de la macrotexture et de la microtexture.</i>	16
<i>Figure 9 : Échelle de texture prise en compte dans les mesures de frottement (Thèse : S. HAMLAT, 2007).</i>	19
<i>Figure 10 : Appareil de mesure ADHERA.</i>	20
<i>Figure 11 : Appareil de mesure Griptesteur.</i>	21
<i>Figure 12 : Pendule SRT.</i>	22
<i>Figure 13 : Appareil de mesure IMAG.</i>	23
<i>Figure 14 : Appareil de mesure SCRIM.</i>	24
<i>Figure 15 : DFT : The Dynamic Friction Tester.</i>	25
<i>Figure 16 : Skiddomètre BV8.</i>	25
<i>Figure 17 : SFT (SAAB) et BV11.</i>	26
<i>Figure 18 : DWW NL.</i>	26
<i>Figure 19 : Les deux versions du ROAR (Road Analyser and Recorder).</i>	27
<i>Figure 22 : Appareil CTM.</i>	30
<i>Figure 23 : Appareil ELAtextur.</i>	31
<i>Figure 24 : Appareil RMS - Dufournier Technologie.</i>	31
<i>Figure 25 : Appareil TexRoad3D.</i>	32

INDEX DES TABLEAUX

<i>Tableau 1 : Valeurs recommandées générales de la macrotexture.</i>	37
<i>Tableau 2 : Caractéristiques intrinsèques des gravillons utilisés en couche de roulement.</i>	40
<i>Tableau 3 : Adéquation demande-offre d'adhérenceLégende :</i>	41
<i>Tableau 4 : Possibilités d'emploi des techniques de traitement de surface.</i>	44
<i>Tableaux 5 : Exemple de présentation du découpage.</i>	52
<i>Tableau 6 : Exemple de présentation des spécifications exigibles.</i>	53

CHAPITRE 1 - INTRODUCTION

PREAMBULE

L'adhérence des chaussées représente une composante importante du niveau de service des axes routiers et autoroutiers. Elle contribue en effet à la sécurité des usagers, plus particulièrement lorsque les chaussées sont mouillées ou humides.

A partir des années 80, un certain nombre de recommandations ont été officialisées afin d'obtenir des caractéristiques d'adhérence convenables sur les revêtements disponibles à l'époque, principalement en matière :

- de macrotexture, pour assurer l'évacuation des eaux de ruissellement de l'aire de contact du pneumatique, notamment à vitesse élevée, et éviter ainsi les risques d'aquaplanage,
- et de microtexture, pour rompre le film d'eau résiduel et offrir le plus grand contact possible entre la gomme du pneumatique et la surface de la chaussée.

Ceci a incité la maîtrise d'œuvre à dissocier les fonctions de la couche de surface et à ajuster l'offre à la demande d'adhérence. Cette dissociation des fonctions a permis de faire évoluer la gamme des revêtements disponibles :

- apparition de nouvelles techniques comme les bétons bitumineux ultra-minces,
- optimisation de techniques existantes comme les bétons bitumineux très minces et les bétons bitumineux drainants,
- amélioration de techniques existantes comme les enrobés coulés à froid,
- disparition de techniques anciennes comme les bétons bitumineux cloutés,
- développement des techniques de traitement de surface, aussi bien au jeune âge que lors de l'apparition de défauts d'adhérence, avec des techniques adaptées en fonction du support en place.

La progression des connaissances et le suivi des techniques ont permis en outre de renforcer l'importance de deux notions de base :

- 1) le pneumatique neuf ou moyennement usé peut compenser partiellement une mauvaise macrotexture mais ne peut pas rattraper une faible microtexture,
- 2) la microtexture est nécessaire à toutes les vitesses et ne dépend pas que de la seule résistance au polissage des gravillons.

Par ailleurs, des études de sécurité ont montré que, si l'adhérence du revêtement n'était pas le premier facteur déclenchant d'un accident sur chaussée mouillée ou humide, il existait néanmoins une relation directe entre adhérence et gravité de l'accident notamment en site difficile.

La progression des connaissances dans ce domaine a permis d'aboutir à la circulaire n°2002-39 du 16 mai 2002.

Les objectifs de cette circulaire étaient :

- d'énoncer les objectifs de qualité d'adhérence des couches de roulement neuves,
- de les traduire en spécifications dans les cahiers des charges des marchés de travaux,
- de définir les modalités de contrôle de conformité des ouvrages en fin de réalisation.

Cette circulaire ne définissait pas explicitement des objectifs d'adhérence des chaussées existantes qu'il conviendrait d'atteindre en permanence sur tout le réseau. La fixation de performances obtenues sur couches de roulement neuves visait à offrir une adhérence qui demeure dans tous les cas acceptable malgré une diminution des caractéristiques physiques du revêtement due à l'usure.

OBJET DU GUIDE

Ce présent guide a pour objectif de rendre compte des règles de l'art applicables sur chaussée afin de faciliter l'obtention d'un bon niveau d'adhérence des couches de roulement neuves. Il s'adresse à toute la communauté routière en leur proposant des spécifications adaptées.

Son intérêt est d'intégrer à la fois tous les nouveaux éléments techniques ayant pu émerger depuis la parution de cette circulaire, et de compiler tous les éléments intéressants issus des différentes productions depuis 2002.

Il doit pouvoir permettre à toutes les maîtrises d'ouvrages d'avoir les informations actualisées :

- sur les nouveaux produits,
- sur le panel d'essais permettant la quantification de l'adhérence (avec les normes en vigueur correspondantes),
- sur les possibilités offertes aux prescripteurs dans le traitement de cas particuliers (couche provisoire, composante bruit, traitement de zone géométriquement exceptionnelle, ...),
- sur la composante environnementale, se traduisant en terme de produits bitumineux par l'influence de l'incorporation des agrégats d'enrobés dans les formules,
- sur la prise en compte du code des marchés publics et du besoin d'adhérence lors de l'élaboration d'un appel d'offre

CHAPITRE 2 - DOMAINE D'EMPLOI

Ce guide se veut ouvert à toutes les maîtrises d'ouvrages, et concerne donc le réseau routier national (comprenant les routes nationales et les réseaux autoroutiers concédés et non concédés), le réseau routier départemental, mais également les autres réseaux où l'adhérence est à prendre en compte dans un objectif de sécurité.

Il concerne toutes les couches de roulement neuves mises en œuvre dans le cadre de travaux de construction, de réhabilitation ou d'entretien de chaussées.

La plus-value de ce guide consiste cependant à proposer quelques adaptations pour les cas suivants :

- niveau de spécifications sur les BBSG et BBME en travaux d'entretien pour certaines configurations de vitesse et de pente,
- niveau d'adhérence requis sur couche de roulement provisoire, en fonction du produit en place (BBSG, BBME, EME notamment) et de son environnement,
- les produits bitumineux de faible granularité,
- l'évolution des formulations et notamment l'incorporation d'agrégats d'enrobés,
- particularité géométrique d'une chaussée (cas des fortes pentes, zones d'accès à fort dévers, ...).

CHAPITRE 3 - RECOMMANDATIONS

3/ 1 : PREAMBULE SUR L'ADHERENCE

Par définition, l'adhérence d'un revêtement correspond à la capacité de celui-ci à mobiliser des forces de frottement entre le pneumatique et la chaussée sous l'effet des sollicitations engendrées par la conduite (accélération, freinages, virages...). L'adhérence permet de conserver à tout moment la trajectoire désirée, notamment en virage, de réduire les distances de freinage et d'arrêt d'urgence, plus particulièrement en carrefour, de faciliter les manœuvres d'évitement ou de récupération de trajectoire.

L'adhérence des chaussées est un facteur important du niveau de service des axes routiers. Elle contribue en effet à la sécurité des usagers et plus particulièrement en présence d'un troisième élément entre la chaussée et le pneumatique tels que l'eau, le sable, des végétaux divers...

Pour obtenir un bon niveau d'adhérence, il faut assurer un contact entre le pneumatique et la chaussée, sur la plus grande surface possible :

- en évitant toute cause d'accumulation d'eau sur la chaussée par la recherche de caractéristiques géométriques longitudinales et transversales satisfaisantes, une macrotexture, qui assure l'évacuation des eaux de ruissellement de l'aire de contact du pneumatique et une microtexture qui permet de rompre le film d'eau résiduel offrant ainsi une plus grande surface de contact.
- en faisant le bon choix du revêtement parmi la vaste panoplie des techniques disponibles en fonction des conditions de circulation et des configurations de site.

Pour les travaux d'entretien, il convient en outre de s'assurer que l'état du support est compatible avec la technique envisagée.

3/ 2 : CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DE LA CHAUSSEE

3/ 2.1 Influence de l'uni longitudinal

Sur chaussée sèche aussi bien que sur chaussée mouillée ou humide, certains défauts localisés d'uni longitudinal, en particulier dans les petites longueurs d'ondes, peuvent diminuer l'adhérence mobilisable par délestage des roues des véhicules. L'obtention de caractéristiques d'adhérence optimales est conditionnée par la recherche d'un uni de qualité.

Les seuils d'uni longitudinal doivent être conformes aux documents techniques en vigueur.

3/ 2. 2 Influence du profil en travers

Le dévers ou pente transversale permet de favoriser l'évacuation des eaux de surface. Dans les rayons de courbure faible, il contribue également à l'équilibre dynamique des véhicules.

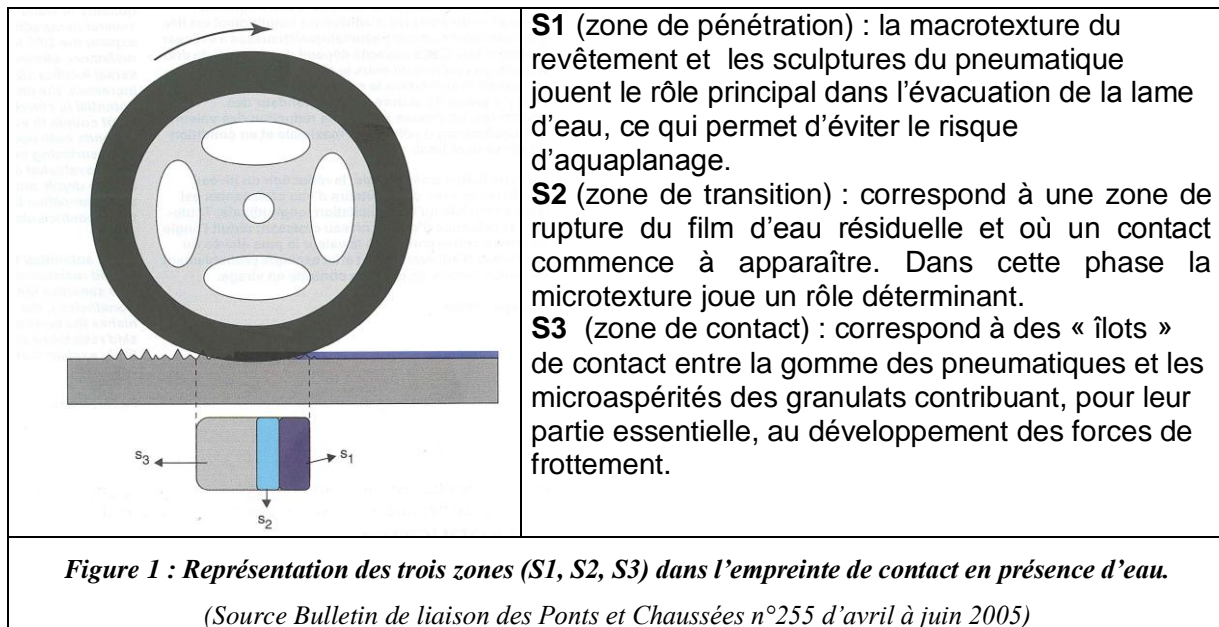
Dans le cas de pentes transversales trop faibles, de déformations (orniérage, affaissement...) ou de changements de dévers mal conçus, des accumulations d'eau en lames d'écoulement ou en flaques statiques peuvent apparaître et contribuer à une réduction sensible de l'adhérence des véhicules sur la chaussée.

3/ 2. 3 Incidence des accumulations d'eau sur la chaussée

3/ 2.3.1 Incidence sur le contact pneu-chaussée

L'adhérence d'un véhicule sur une chaussée dépend directement des surfaces propres et sèches de contact des pneumatiques du véhicule avec la chaussée. L'eau qui recouvre plus ou moins le revêtement lors d'une pluie, mais aussi après celle-ci, doit donc pouvoir être évacuée par la chaussée et chassée par les pneumatiques pour que l'utilisateur puisse bénéficier d'une adhérence satisfaisante.

Il est considéré que la composante longitudinale de l'adhérence pneumatique sur un revêtement de chaussée peut être décomposée en trois zones (S1 à S3) comme le montre la figure 1.



De façon schématique, il est admis que la plus grande partie de l'eau doit d'abord être évacuée par les dispositions constructives de la chaussée (géométrie, drainage) d'une part, grâce à la texture ou à la porosité du revêtement et aux sculptures de la bande de roulement des pneumatiques d'autre part (figure 2).

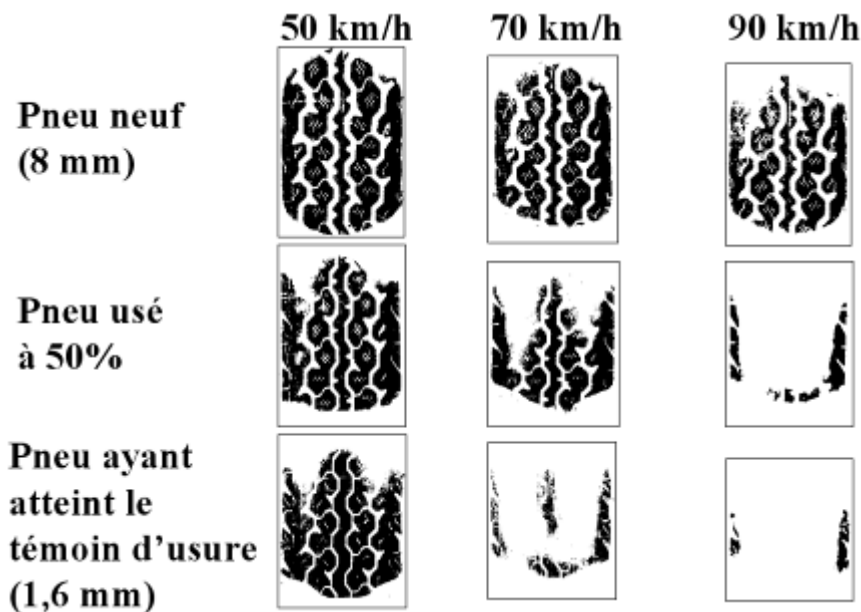


Figure 2 : Influence de l'usure d'un pneumatique sur la dimension de sa zone de contact sous 1 mm d'eau
(Source Département Laboratoire de Lyon (DLL), photos prises à travers une plaque de verre sur laquelle circulait le pneumatique).

Il ne subsiste alors qu'un film d'eau, beaucoup plus résistant, qui doit être brisé par la pression développée entre les aspérités de surface du revêtement et la gomme de la bande de roulement des pneumatiques. Sur ces aspérités, le contact des pneumatiques avec la chaussée s'effectue à sec, ce qui contribue à accroître l'adhérence du véhicule et ce d'autant plus que les surfaces de contact sèches sont grandes.

Dans le cadre de cette problématique, il est important de préciser de nouveau que les conditions préalables à la recherche de caractéristiques d'adhérence satisfaisantes sont avant tout :

- le respect des règles géométriques longitudinales et transversales de tracé,
- l'obtention du niveau d'uni longitudinal requis pour les petites longueurs d'ondes,
- l'élimination des risques d'accumulation d'eau sur la chaussée.

Les accumulations d'eau en lames d'écoulement ou en flaques statiques, peuvent atteindre plusieurs millimètres pour les premières et plusieurs centimètres pour les secondes. Elles peuvent résulter de problèmes :

- ❑ de conception et de respect des règles géométriques longitudinales et transversales de tracé : pentes transversales trop faibles, raccordement de dévers, assainissement insuffisant de terre-pleins centraux, de giratoires ou d'îlots de carrefours, etc.,
- ❑ de construction ou d'aménagement : création d'obstacles à l'écoulement des eaux,
- ❑ d'uni : niveau insuffisant pour les petites longueurs d'ondes,
- ❑ d'usure ou d'entretien : présence de déformations importantes sur la chaussée (ornières...), défauts d'évacuations latérales dus par exemple à l'existence de bordures ou d'accotements non dérasés avec des exutoires inadaptés.

Dans cette optique, la prévention de ces problèmes nécessite :

- un effort de réflexion vis-à-vis de l'entretien ultérieur de l'ouvrage dès sa conception,
- des visites périodiques par temps de pluie pour localiser précisément les dysfonctionnements et prévoir les dispositions correctives adaptées pour y remédier.

3/ 2.3.2 Cas de la construction ou de l'entretien d'une chaussée

Le rôle du concepteur consiste à établir des conditions de tracé et d'aménagement capables d'assurer un bon écoulement de l'eau.

Une attention particulière doit être apportée au traitement des zones à risques d'accumulation ponctuelle des eaux de ruissellement, par écoulements longitudinaux, transversaux comme de biais.

La facilité de nettoyage et d'entretien périodiques des équipements d'assainissement doit être impérativement prise en compte dès la phase de conception, afin d'assurer la pérennité des écoulements tout en respectant les dispositions de la loi sur l'eau.

Dans cette hypothèse, différentes dispositions constructives listées ci-après peuvent être retenues et mises en place selon les cas de figures rencontrés. Le choix d'une solution, son implantation et sa conception, sont conditionnés par la configuration du site à traiter.

Ci-dessous sont listés des exemples de réponses possibles en fonction de différentes problématiques :

Rectifications de dévers : elles nécessitent une étude altimétrique préalable précise, et doivent si nécessaire s'accompagner d'un réaménagement du rayon de courbure. Il convient par ailleurs de prolonger largement la nouvelle couche de roulement de part et d'autre de la zone déversée.

Dispositifs longitudinaux d'évacuation en axe ou en rive :

- drains incorporés en bordure des revêtements poreux ou drainants,
- caniveaux à fente coulés en place ou préfabriqués,
- caniveaux en U, protégés ou non par une grille métallique amovible,
- canalisations d'assainissement en béton ou en polymères, en terre-plein central ou en rives (avec regards de visite),
- fossés en cunette végétalisés ou en béton (en terre-plein central et/ou en rives),
- écrans drainants en rives de chaussées.

Dispositifs transversaux :

- épis drainants profonds sous la couche de roulement poreuse ou drainante, exécutés par rabotage (de section grandissante en direction de l'exutoire) puis remplis d'un matériau poreux ou drainant (par exemple enrobés drainants, ...),
- épis drainants superficiels dans le cas d'une couche de roulement imperméable,
- ouvrage transversal préfabriqué, disposé en oblique.

Revêtements localisés en point bas ou sur zone ponctuelle :

Revêtement à forte macrotexture permettant une forte drainabilité transversale (enduits superficiels, BBDr, etc.) pour limiter le risque d'aquaplanage.

Séparateurs en béton : il est conseillé de définir lors de l'élaboration de projets, l'implantation et le dimensionnement des ouvrages de captage en tenant compte des caractéristiques hydrauliques tels que les pentes, longueurs des écoulements, débits à évacuer,...

3/ 2.3.3 Cas d'entretien localisé d'une chaussée

Des visites périodiques du réseau routier, notamment par temps de pluie, permettent de localiser et de diagnostiquer des dysfonctionnements de façon précise, d'identifier les principaux facteurs influents et de déterminer les mesures correctives appropriées.

Les mesures correctives les plus couramment appliquées consistent à réaliser :

- des traitements ponctuels d'urgence de reprofilage (suppression des ornières), de déflachage et/ou de calibrage, associés ou non à un renouvellement de la couche de roulement,
- des interventions curatives sur les dépendances et les ouvrages d'assainissement (curages de fossés),
- des dérasements d'accotements.

Certaines configurations particulières nécessitent des aménagements spécifiques, telles :

- les zones d'inversion de dévers,
- les chaussées à plus de deux voies et à forte pente longitudinale.

De façon générale, les solutions sont à choisir parmi les dispositions constructives précédemment évoquées, en fonction principalement des pentes du profil en long.

3/ 2.3.4 Illustration de cas concrets

Deux cas de figures sont illustrés ci-après. Ils soulignent l'intérêt de réaliser un examen de la chaussée pendant et après une période de pluie, en complément des contrôles éventuels de planimétrie et/ou d'uni tant longitudinal que transversal.

Problèmes géométriques en phase travaux

Les photos ci-après mettent en évidence des problèmes d'uni (flaches) dans lesquels s'accumule l'eau de ruissellement (figure 3).



Figure 3 : Conséquences de problèmes d'uni (Sources Département Laboratoire de St Brieuc et Charier SA).

Suivant le stade de construction de la chaussée la solution de traitement peut consister :

- soit à corriger la géométrie par reprofilage,

- soit à remplacer localement la couche incriminée.

Dans les zones d'inversion de devers, la réalisation d'une saignée drainante raccordée au réseau d'assainissement est une solution intéressante, notamment en cas de faible pente du profil en long (figure 4).



Figure 4 : Epi drainant sur couche de liaison (Source Département Laboratoire de Saint Briec).

Résurgences d'eau sur chaussée existante

Certains cas d'humidité sur chaussée sont liés à des remontées d'eau provenant du support de la structure (figure 5). Ces désordres doivent faire l'objet d'un diagnostic articulé autour de trois points principaux :

- examen de l'état des fossés et des dispositifs de drainage existants,
- connaissance de la structure de la chaussée par réalisation de carottages (existence de couches poreuses ou imperméables),
- connaissance hydrogéologique du site (recherche des venues et/ou circulations d'eau).



*Figure 5 : Résurgence d'eau sur couche de liaison
(Sources Département Laboratoire de Saint-Briec et Colas SA).*

Les solutions de traitement consistent par exemple à :

- entretenir le dispositif de drainage existant (curage des fossés et des passages busés),
- redimensionner correctement le dispositif d'évacuation (hauteur, diamètre des drains, mise en place d'exutoires en tenant compte des débits à évacuer),
- envisager la construction de dispositifs complémentaires (écrans de rives ou tranchées drainantes, avaloirs, etc.).

3/ 3 : INFLUENCE DU CHOIX DU REVETEMENT

3/ 3.1 Définition et rôle de la macrotexture

La macrotexture correspond à l'écart entre la surface du revêtement et la surface d'un plan affleurant les plus hautes aspérités (Figure 6). Il s'agit d'une caractéristique liée à la dimension des granulats, à la formulation du revêtement, à la mise en œuvre du matériau et au traitement de surface éventuel.



Figure 6 : Schéma descriptif de la macrotexture (CFTR)

La capacité d'évacuation de la lame d'eau par le pneumatique et le revêtement dépend des sculptures du pneumatique et de la drainabilité superficielle du revêtement, laquelle est assurée par sa macrotexture.

La macrotexture caractérise la présence d'irrégularités de surface dont la gamme de dimensions est de 0,2 à 10 millimètres verticalement et de 0,5 à 50 millimètres horizontalement.

Elle dépend de la dimension des granulats, de la formule du revêtement, de la mise en œuvre (compactage) et du traitement de surface éventuel.

Une forte macrotexture a un effet bénéfique sur l'évacuation superficielle des eaux de ruissellement et sur la réduction des projections d'eau ainsi que sur les propriétés optiques d'un revêtement humide (suppression de l'effet miroir, ...) mais elle peut conduire à augmenter le bruit de contact pneumatique-chaussée et la résistance au roulement.

Certains enrobés présentant une forte macrotexture et/ou une forte teneur en vides (notamment les enrobés drainants et dans certains cas les BBTM) nécessitent une gestion particulière lors de la viabilité hivernale.

La faible macrotexture est susceptible d'entraîner, par temps de pluie et à vitesse élevée, une perte d'adhérence qui résulte de la persistance d'une lame d'eau entre le pneumatique et le revêtement engendrant ainsi le phénomène d'aquaplanage, lequel se traduit par une perte de maîtrise de la conduite (sauf enrobés à teneur en vide élevée).

La recherche de l'obtention et de la durabilité de la macrotexture doit être l'une des idées directrices de la formulation. Pour cela, il est conseillé de se reporter aux normes de spécifications des produits routiers et à leurs documents d'application.

3/ 3.2 Définition et rôle de la microtexture

La microtexture est essentiellement liée à l'état de surface des gravillons correspondant à une gamme des dimensions conventionnelles des aspérités de 0 à 0,2 mm verticalement et de 0 à 0,5 mm horizontalement (figure 7). Elle dépend de la nature pétrographique, des caractéristiques intrinsèques, des caractéristiques de fabrication, et de l'agencement des gravillons.

La surface ainsi formée est exposée au trafic routier et va évoluer dans le temps. Sa capacité à conserver un fort relief sous l'effet du polissage est alors un paramètre fondamental de la durabilité de la couche de roulement.

La microtexture caractérise les micro-aspérités de surface d'un revêtement qui permettent d'obtenir le contact avec la gomme du pneumatique en perçant le film d'eau résiduel.

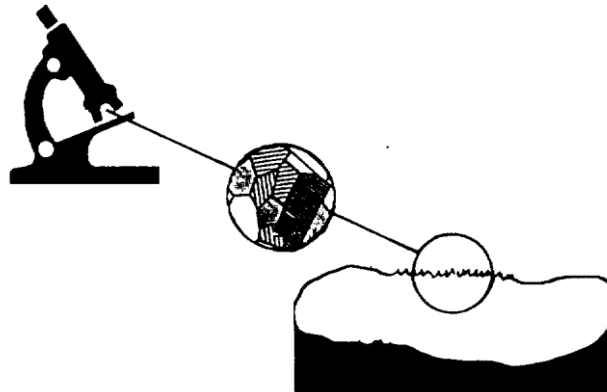


Figure 7 : Schéma de la microtexture (Sétra)

Les connaissances actuelles en la matière montrent que la microtexture est en partie influencée par les constituants granulaires. Cette influence vient de la capacité des granulats à présenter et à conserver le plus longtemps possible des arêtes vives et à offrir une surface durablement rugueuse résistant bien au polissage essentiellement induit par le trafic poids lourds. Elle est aussi en partie liée à la formule du revêtement, notamment à la dimension maximale des granulats, au pourcentage de sable et à la courbe granulométrique de la formule, etc.

Les connaissances en la matière sont insuffisantes pour hiérarchiser leur influence relative.

Il convient cependant de rappeler que la microtexture initiale et sa durabilité sont en partie influencées par :

- la capacité des granulats à présenter et à conserver le plus longtemps possible des arêtes vives et à offrir une surface durablement rugueuse résistant bien au polissage induit par le trafic,
- la formule du revêtement, en particulier par la dimension maximale des granulats et le pourcentage d'éléments fins.

La microtexture ne devient cependant totalement efficace que lorsque le film de liant superficiel a été décapé par le trafic.

Une faible microtexture est susceptible par temps de pluie d'accentuer le risque de viscoplanage.

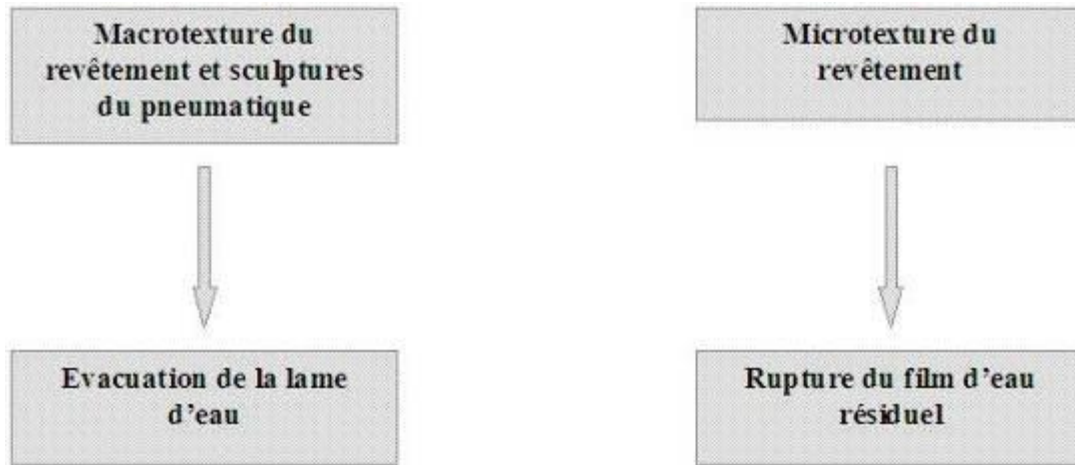


Figure 8 : Rôles de la macrotexture et de la microtexture

Une forte macrotexture est nécessaire lorsque la quantité d'eau à évacuer est importante : itinéraire à vitesse élevée par exemple, où des sections induisant une grande longueur d'écoulement d'eau liée à la largeur de la chaussée, ses pentes longitudinales et/ou transversales. Un bon niveau de microtexture est toujours nécessaire car il n'y a pas de possibilité de compensation, par ailleurs la demande en microtexture est plus élevée pour les itinéraires en sites difficiles ayant des virages à faible rayon ainsi que pour les points singuliers de tracés susceptibles de générer des changements d'allures dans la conduite.

3/ 3.3 Choix du revêtement

Les revêtements de couche de roulement présentent des textures très diverses en relation directe avec leurs compositions et leurs épaisseurs de mise en œuvre, et par conséquent des niveaux d'adhérence extrêmement variés.

Les choix des gestionnaires reposent sur les performances évaluées et reconnues en termes de rugosité, de résistance aux déformations, etc., mais aussi sur le niveau et l'évolution de l'adhérence.

- Influence des granulats

Si la granularité et la forme des granulats, la formule et la mise en œuvre du revêtement de surface influence l'obtention d'une surface antidérapante, la résistance mécanique, l'angularité et la microrugosité jouent un rôle important dans son évolution sous l'action du trafic.

L'usure diminue progressivement l'angularité et augmente les surfaces susceptibles de se polir.

Pour fabriquer un mélange utilisable en couche de roulement, les granulats doivent répondre à un certain nombre de critères géométriques, mécaniques et physico-chimiques. Aussi, ils doivent être conformes aux spécifications de la norme NF EN 13043 complété par la norme NF P 18-545 pour satisfaire à une utilisation en couche de roulement. Si ces spécifications ne sont pas satisfaites, elles conduisent alors à une diminution des performances du revêtement qui peut entraîner des désordres dans la chaussée ou des difficultés de mise en œuvre.

Les caractéristiques des granulats pour l'obtention de propriétés de surface durables sont :

- Caractéristiques intrinsèques : résistance à la fragmentation (essai LA), à l'usure (essai MDE), au polissage (essai PSV)
- Caractéristiques de fabrication : granularité, forme, aplatissement, angularité et propreté

Influence du liant

Le développement de bitumes modifiés par des polymères et/ou de l'emploi d'additifs est intimement lié à la mise au point de nouvelles formules d'enrobés bitumineux de couches de surface en faible épaisseur, offrant de meilleures performances en termes de qualité d'usage et de durabilité.

Par conséquent, les liants modifiés sont conseillés pour les couches de roulement en faible épaisseur (4cm et moins), sur les routes où le trafic est élevé et agressif, dans le but d'améliorer la cohésion de l'enrobé et de réduire le risque d'évolution de la texture sous circulation.

Grâce à leurs caractéristiques intrinsèques, ils contribuent à améliorer les performances d'adhérence des revêtements bitumineux de chaussées parmi lesquelles :

- amélioration de l'élasticité et augmentation de la tenue thermo-mécanique,
- accroissement de la cohésion inter granulaire,
- conservation de la texture de surface.

- Influence des paramètres de formulation

- Influence de la dimension maximale « D »

A partir de la base de donnée des données françaises sur les caractéristiques de CFL et de texture (CARAT) constituée par le Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées d'Angers, il a été montré que l'adhérence moyenne des BB de granularité 0/6 toutes origines de granulats confondues, est supérieure à celle de tous les BB 0/10 laquelle est elle-même supérieure à celle des BB 0/14.

En effet, l'adhérence est liée au nombre de points de contact anguleux de la surface bitumineuse avec le pneumatique du véhicule qui augmente avec la réduction du « D » des gravillons du mélange bitumineux. Dans tous les cas, il est nécessaire de veiller à la conservation d'une macrotexture suffisante.

Cette hiérarchie est inverse de celle montrée par les mesures de macro texture, puisque les formules les plus grossières confèrent un plus fort relief à la surface de chaussée.

Cet élément indique que la recherche d'un compromis entre l'évacuation de la lame d'eau par la macro texture et la multiplication des points de contact pneu-chaussée passe par le choix du « D » de la formule.

- Influence de la granulométrie

De manière générale :

- l'augmentation du pourcentage de gravillons conduit à l'accroissement de la macrotexture,
- l'augmentation du pourcentage d'éléments plus fins conduit à un accroissement de la micro texture.

Les nombreuses auscultations et mesures d'adhérence in situ indiquent qu'une discontinuité granulométrique conduit à des mélanges de macro textures généralement plus ouvertes, mais que l'optimisation de la formulation peut influencer favorablement sur l'adhérence du revêtement de chaussée.

De manière générale, il est conseillé de choisir un type de revêtement de chaussée adapté en suivant les indications mentionnées dans les tableaux relatifs à la demande et à l'offre d'adhérence situés au paragraphe 5 : « Valeurs recommandées » du présent guide.

Concernant les spécificités de formulation de chaque produit, il est recommandé de se reporter aux normes de spécifications des matériaux bitumineux (NF EN13108-1 à NF EN 13108-20), mais également au Guide Technique SETRA (projet de révision à venir) relatif à l'utilisation des normes enrobé à chaud.

- Influence des agrégats d'enrobés sur l'adhérence

L'incorporation d'agrégats d'enrobés dans la formulation des couches de roulement est désormais courante et le développement de cette pratique est essentiel à la tenue des engagements pris lors du « grenelle de l'environnement » et dans la « convention d'engagement volontaire des acteurs de

conception, réalisation et maintenance des infrastructures routières, voirie et espaces publics urbains » nationale et ses déclinaisons locales.

Le Guide Technique d'Utilisation des Normes Enrobés à chaud en vigueur (GUNE – Sétra) précise les conditions d'utilisation des agrégats d'enrobés en fonction du taux de recyclage envisagé (homogénéité, granulats, liants) et de la couche concernée.

L'établissement d'une Fiche Technique Agrégats d'Enrobés (FTAE) est indispensable lors de la constitution d'un stock (NF EN 13 108-8).

Les mesures d'adhérence sur des enrobés bitumineux contenant des agrégats d'enrobés, notamment dans le cadre de chantiers innovants (dispositif de soutien de l'Etat à l'innovation routière) et de chantiers autoroutiers (avec un recul d'une dizaine d'années) ont montré que l'adhérence des couches de roulement ne présente pas de différence significative par rapport à celle d'enrobés similaires sans agrégats d'enrobés.

La recherche d'adhérence n'est donc pas un frein à la pratique du recyclage en couche de roulement.

Pour les recyclages à forts taux (> 30 %) des procédures adaptées pour la formulation de l'enrobé et le contrôle des agrégats d'enrobés doivent être mises en place. La référence au guide technique IDRRIM « Recyclage à moyen et fort taux d'agrégats d'enrobés dans les enrobés à chaud et tiède » est nécessaire.

CHAPITRE 4 - EVALUATION DE L'ADHERENCE DES CHAUSSEES

4/ 1 : INTRODUCTION

La capacité d'adhérence d'un pneumatique sur un revêtement routier mouillé dépend pour partie importante de ce revêtement. L'adhérence est directement liée à la texture du revêtement routier considéré dans le domaine des longueurs d'ondes comprises entre 1 µm et 10 cm (dimensions de l'empreinte du pneumatique).

La mesure des caractéristiques de surface est donc indispensable pour connaître le niveau initial d'adhérence du revêtement et pour évaluer sa capacité à se maintenir à un niveau adéquat dans le temps. En cas d'intervention sous circulation, les dispositions de mesures sont arrêtées d'un commun accord avec le gestionnaire de la chaussée.

L'adhérence d'une chaussée peut être appréciée par différentes méthodes d'évaluation utilisant des appareils spéciaux. Ces méthodes sont fondées sur la mesure conventionnelle d'un coefficient de frottement (longitudinal ou transversal) à différentes vitesses de glissement (mesures indirectes permettant d'estimer le niveau de macrotecture et de microtexture) ou sur la combinaison des mesures de frottement et de mesures directes de la macrotecture (mesures profilométriques).

Toutes ces mesures doivent s'effectuer sur une surface propre.

Les essais ne peuvent être réalisés en période de viabilité hivernale (présence de fondants, influence des températures basses).

La mesure de frottement sur une chaussée ouverte à la circulation est soumise aux aléas climatiques qui génèrent des variations saisonnières de l'adhérence. Celles-ci doivent être prises en compte dans l'exploitation des résultats de mesures d'adhérence.

En effet, des variations du coefficient de frottement sont observables au fil de l'année en raison des changements de conditions extérieures. De manière simplifiée, le coefficient d'adhérence est le plus élevé au printemps et le plus bas au début de l'automne. L'accumulation de poussières, la faible pluviométrie et les températures élevées sont autant de facteurs explicatifs de la baisse d'adhérence en fin d'été. Il n'existe pas de formule de correction applicable dans le cas général malgré les différentes propositions publiées dans la littérature.

Pour limiter cet effet, il est recommandé pour un suivi dans le temps de réaliser les mesures à la même période de l'année.

4/ 2 : MESURES CONVENTIONNELLES DE FROTTEMENT

Les performances d'adhérence d'une chaussée dépendent à la fois du niveau de microtexture et du niveau de macrotecture. La prépondérance de cette microtexture et/ou de cette macrotecture sur le niveau global

d'adhérence dépend quant à elle de la vitesse de glissement du pneumatique sur la chaussée. La connaissance des conditions d'essais est donc essentielle dans la compréhension et l'interprétation des résultats de mesures.

La microtexture ne peut s'apprécier que de manière indirecte à l'aide d'une mesure de coefficient de frottement à faible vitesse de glissement dans des conditions standards de mesures (pneu lisse, mouillage de la chaussée). Ces mesures peuvent être ponctuelles ou continues et elles fournissent des indicateurs interprétables par le gestionnaire ou le chargé d'études.

Les principaux indicateurs continus utilisés sont :

- Coefficient de frottement Transversal (CFT) mesuré à l'aide de l'appareil SCRIM,
- GRIPNUMBER (CFL_G) qui est un coefficient de frottement longitudinal mesuré avec un taux de glissement de 15%,
- Coefficient de Frottement Longitudinal (CFL_L) mesuré à l'aide de l'appareil IMAG sur pistes aéroportuaires uniquement.

Il existe également des indicateurs de mesure ponctuels :

- Coefficient de Frottement Longitudinal roue bloquée (CFL_A) mesuré à l'aide de l'appareil ADHERA à faible vitesse d'essais (vitesse du véhicule ≤ 40 km/h). Il est également possible de réaliser une mesure semi-continue avec l'ADHERA (CFL moyenné sur 10 m tous les 20 m parcours),
- Le Skid Number obtenu à l'aide du pendule SRT. Ce dispositif permet une mesure statique d'un coefficient de frottement longitudinal.

Ces différents coefficients de frottement varient entre 0 et 1, 0 correspondant à une chaussée sans microtexture (i.e. lisse) et 1 à une chaussée très rugueuse (enduits haute adhérence avec bauxite calcinée par exemple). Plus la valeur sera élevée et plus le niveau de microtexture du revêtement sera important.

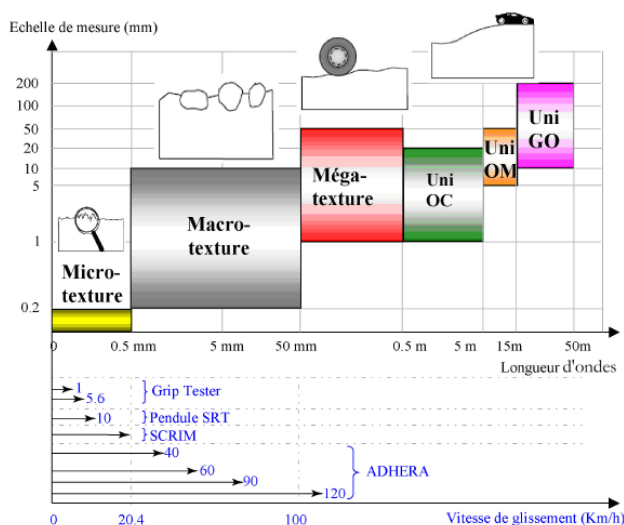


Figure 9 : Échelle de texture prise en compte dans les mesures de frottement (Thèse : S. HAMLAT, 2007)

Ensuite, l'effet de la macrotexture sur le niveau d'adhérence peut s'apprécier en réalisant une mesure de coefficient de frottement à haute vitesse en conditions mouillées. En particulier, des mesures de CFL_A à vitesse supérieure à 60 km/h sont réalisées dans cet objectif. Ces mesures permettent de voir le rôle de la macrotexture qui évacue le film d'eau entre le pneu et la chaussée. Plus le niveau de macrotexture sera élevé et plus le coefficient de frottement à haute vitesse sera élevé.

4/ 2.1 Mesure du frottement longitudinal

4/ 2.1.1 L'Adhera

(CFL_A - NF P 98 220-2, TS EN 15901-3, Méthode d'essai LPC n° 50 V2)

L'ADHERA réalise une mesure sur chaussée mouillée avec une roue bloquée, équipée d'un pneu lisse AIPCR et chargée à 250 daN. Le comité technique AIPCR 1 sur les caractéristiques a édité en 2004 un guide spécifiant l'ensemble des caractéristiques de ce pneu lisse.



Figure 10 : Appareil de mesure ADHERA

Normes de référence : NF P 98 220-2, TS EN 15901-3

Expression des résultats

- CFL_A : Coefficient de Frottement Longitudinal Adhéra, 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 $CFL_A = f(\text{vitesse})$, tracée soit dans un fuseau de référence tous revêtements français confondus, soit dans un fuseau de référence pour une technique donnée

Précision de mesure (source centre vérificateur)

- Répétabilité : 10 %
- Reproductibilité : 14 %

Pour des valeurs de CFL comprises entre 0,20 et 0,70

Domaines d'emploi

- Réception de couches de roulement
- Mesure complémentaire possible sur des lots litigieux en PMT
- Analyse de sections accidentogènes
- Évaluation de revêtements particuliers
- Suivi de sections

Commentaires

Les mesures sont réalisées à 3 vitesses d'essai (par exemple 40, 60 et 90km/h sur route et 60, 90, 120 km/h sur autoroute en section courante). La hauteur d'eau utilisée est d'environ 1 mm. Ces mesures sont recommandées pour des relevés ponctuels, mais non adaptées pour des relevés en continu sur des sections d'une longueur de plus de 2km (suivi de réseaux).

Trois appareils ADHERA existent en France aux Départements Laboratoire de Bordeaux, site de Séquedin et au Département Laboratoire de Lyon. Ils font l'objet d'une procédure annuelle de suivi métrologique dans le cadre du fonctionnement du Centre Vérificateur mlpc piloté par le Département Laboratoire de Lyon.

Les mesures sont pratiquées avec les pneus lisses AIPCR (165R15).

4/ 2.1.2 Griptester

« CFLG : NF P 98 220-2 et TS EN 15901-7, Méthode d'essai LPC n° 50 V2 »

Le Griptester réalise une mesure en continu sur chaussée mouillée avec une petite roue glissée à un taux de 14 %, équipée d'un pneu lisse ASTM et chargée à environ 25 daN.



Figure 11 : Appareil de mesure Griptester

Normes de référence : NF P 98 220-2, TS EN 15901-7, ASTM E 1844-96 (pneu)

Expression des résultats

- CFL_G : Coefficient de Frottement Longitudinal Griptester, à différentes vitesses d'essai
- Coefficient sans dimension compris généralement entre 0 et 1.2
- Listage des CFL_G mesurés en continu avec l'information vitesse

Précision de mesure (source centre vérificateur)

- Répétabilité : 5 %
- Reproductibilité : 14 % pour le Griptester ancienne génération MK1
14 % pour le Griptester nouvelle génération MK2
21 % pour les deux familles MK1 et MK2 confondues

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 de faibles gabarits ou sinueuses pour des sections de longueur modérée (quelques kilomètres)
- Analyse de sections accidentogènes
- Évaluation des marquages routiers

Commentaires

Les mesures sont réalisées à des vitesses d'essai comprises entre 5 et 40km/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 5km/h, rend la mesure très sensible à la microtexture du revêtement testé.

Les mesures peuvent être effectuées soit en version poussée (environ 5km/h) soit en version tractée (au maximum 40km/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 40km/h pour réduire l'influence des déformations de la route sur les mesures par délestage de la roue

Le principe de fonctionnement est identique entre les deux générations de matériel Mk1 et Mk2, seule diffère le modèle de suspension des remorques (mécanique et pneumatique)

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. Pour des cas très précis, 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.

Six appareils Griptester sont actuellement utilisés en France. Une procédure de suivi métrologique et d'essais croisés sur pistes est mise en œuvre tous les deux ans avec ces matériels. Elle est pilotée par le Département Laboratoire de Lyon.

4/ 2.1.3 Pendule SRT

« Essai au pendule : NF EN 13036-4, Méthode d'essai LPC n° 50 V2 »

Le pendule SRT réalise une mesure ponctuelle sur chaussée mouillée avec un patin bloqué.



Figure 12 : Pendule SRT

Norme de référence : NF EN 13036-4

Expression des résultats

- Coefficient Valeur de l'Essai au Pendule (VEP)
- La vitesse équivalente du bras du pendule portant un patin de caoutchouc de 76,2 par 25,4mm est d'environ 10km/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 VEP est égale à la moyenne de 5 points de mesures élémentaires, 5 lâchers successifs étant nécessaire pour obtenir un point de mesure.

Précision de mesure (source centre vérificateur)

- Répétabilité : 7 %
 - Reproductibilité : 16 %
- pour des valeurs comprises entre 54 et 72.

Domaines d'emploi

- Utilisation en milieu urbain
- Suivi de revêtements particuliers
- Évaluation et homologation des marquages routiers
- Essais sur des échantillons de laboratoires

Commentaires

La faible vitesse de glissement de l'appareil rend la mesure très sensible à la microtexture du revêtement testé.

Cet appareil est rarement utilisé sur route. Il est davantage employé pour les études de laboratoire et pour l'évaluation des marquages routiers ou la caractérisation des zones piétonnes.

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 dans le cadre du fonctionnement du Centre Vérificateur mlpc piloté par le site de Séquedin.

4/ 2.1.4 IMAG

Pour piste aéroport « CFLI : NF P 98 220-2, Méthode d'essai LPC n° 50 V2, Annexe 14 OACI, Arrêté TAC du 10 juillet 2006 »

Cet appareil 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%.



Figure 13 : Appareil de mesure IMAG

Norme de référence : NF P 98 220-2

Documents de référence : Annexe 14 OACI, Arrêté TAC du 10 juillet 2006.

Expression des résultats

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

Précision de mesure (source STAC)

- Répétabilité : 0.03
- Reproductibilité : 0.11

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.

Neuf IMAG sont utilisés actuellement en France. Chaque appareil fait l'objet d'une procédure annuelle de suivi météorologique.

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).

L'IMAG est par ailleurs aussi utilisé avec un pneumatique rainuré AIPCR 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 2 systèmes de mesures équipant IMAG permettent la détection de contaminant présent sur la chaussée.

4/ 2.2 Mesure du frottement transversal

4/ 2.2.1 SCRIM

« CFT: NF P 98 220-4 et TS EN 15901-6, Méthode d'essai LPC n° 50 V2 »

Le SCRIM réalise une 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.



Figure 14 : Appareil de mesure SCRIM

Normes de référence : NF P 98 220-4, TS EN 15901-6, norme anglaise BS 7941-1 (pneu)

Expression des résultats

- CFT : Coefficient de Frottement Transversal à une vitesse d'essai
- Coefficient sans dimension compris entre 0 et 1
- Listage des CFT mesurés en continu avec l'information vitesse
- Présentation graphique des résultats sous forme d'histogramme
- Valeur moyenne du CFT et son écart-type pour la section de mesure

Précision de mesure

- Répétabilité : 8 %
- Reproductibilité : 12 %
pour des valeurs de CFT comprises entre 0,40 et 0,99.

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 (CETE Nord-Picardie, Département Laboratoire de Lyon et VECTRA). Ils font l'objet d'une procédure annuelle de suivi métrologique et des essais comparatifs sur pistes et sur route. Celle-ci est pilotée par le Département Laboratoire de Lyon.

L'importante réserve d'eau embarquée donne la possibilité à cet appareil de réaliser un relevé des CFT à grand rendement (autonomie supérieure à 100 km de mesures dans des conditions standards d'essais).

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 étroites

De même, la vitesse d'essais doit rester stable tout au long de la mesure.

4/ 2.3 Autres appareils

le Dynamic Friction Tester (DFT)

Le DFT est un appareil de mesure du frottement d'origine américaine (PennState University). Il est constitué d'un plateau tournant sur lequel sont montés trois patins d'essais à 120° les uns des autres, sur

un cercle de diamètre de 284 mm. Le plateau est lancé à 80 km/h puis abaissé jusqu'à la surface du revêtement à caractériser. La vitesse du plateau décroît jusqu'à atteindre 0 km/h. Cet essai est réalisé avec un mouillage constant (débit : 2l/mn).

Les résultats sont fournis sous la forme d'une courbe de freinage (i.e. évolution du coefficient de frottement en fonction de la vitesse). L'appareil fournit également des valeurs standards DFT40, DFT60 qui correspondent aux valeurs du coefficient de frottement à 40 et 60 km/h.

Le DFT permet donc une mesure ponctuelle d'un coefficient de frottement longitudinal. Il est utilisé actuellement à des fins de recherche en France. Des campagnes de mesures comparatives ont montré une bonne corrélation entre les valeurs de DFT et les valeurs de coefficients de frottement obtenus avec d'autres appareils (SRT, Griptest, etc.).

La procédure d'essai fait l'objet d'une norme ASTM (ASTM E 1911, 2009).

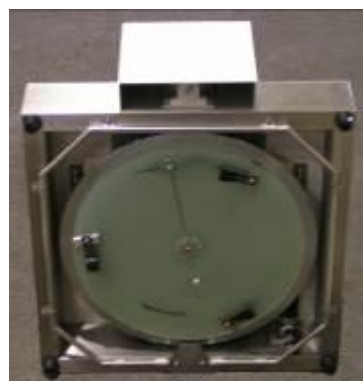


Figure 15 : DFT : The Dynamic Friction Tester

Le Skiddomètre – BV8

Le Skiddomètre-BV8 est un appareil développé par Statens Väginstytut, National Swedish Road Research Institute de Stockholm, qui permet la mesure d'un coefficient de frottement longitudinal avec une roue bloquée (essai normalisé) ou ayant un taux de glissement de 14% sur chaussée mouillée. La valeur de CFL est moyennée sur 30 ou 50 m. Cet appareil est utilisé en Suisse. La roue de mesure placée au milieu de la remorque est montée entre les roues porteuses. Elle est appliquée sur la chaussée selon une charge verticale connue et contrôlée. Un débit contrôlé d'eau est préalablement répandu sur la chaussée juste devant la roue d'essai de manière à la faire glisser vers l'avant lorsque le véhicule avance. L'épaisseur du film d'eau est généralement de 0,5 mm et les vitesses de mesure standards sont de 40, 60 et 80 km/h.

Le pneumatique d'essai est un pneumatique AIPCR sans chambre à air normalisé, en 165 R15 et doté de quatre rainures longitudinales (pneumatique rainuré). La profondeur minimale du profil est de 4 mm. Le pneumatique est gonflé à 150 kPa à 20 C.

La procédure d'essai fait l'objet d'une spécification technique européenne (EN TS 15901-10).



Figure 16 : Skiddomètre BV8

Le SFT (SAAB Friction Tester) et la remorque BV-11

Le SFT/BV-11 est un appareil permettant la mesure d'un coefficient de frottement longitudinal en continu, au pas de 20 m, avec une roue de mesure ayant un taux de glissement de 17% sur chaussée mouillée. L'appareil est conçu comme une remorque attelée (BV11) ou intégré dans un véhicule (SFT). Un effort vertical de 1 000 N est appliqué sur la roue de mesure. L'épaisseur théorique du film d'eau est de 0,5 mm pour toutes les mesures, hormis pour les aérodromes où il convient d'utiliser une épaisseur de 1,0 mm. La vitesse d'essais est de 70 km/h (hormis pour les aérodromes où il convient d'utiliser une vitesse de 130 km/h). Le pneumatique d'essai de mesure est du type Trelleborg T49. Le pneumatique doit être gonflé à 140 kPa à 20°C. Il convient que la profondeur de sculpture soit supérieure à 2 mm. Sur les aérodromes, il convient que le pneumatique soit de type Trelleborg Unitester ou Saab Aero et gonflé à 700 kPa à 20°C. La procédure d'essai fait l'objet d'une spécification technique européenne (EN TS 15901-12).



Figure 17 : SFT (SAAB) et BV11

La remorque DWW – NL

La remorque de mesure de l'adhérence DWW_{NL} a été développée par Dienst Weg-en Waterbouwkunde (DWW) à Rijkswaterstaat, aux Pays-Bas. L'appareil utilise dans des conditions de vitesse contrôlées un pneumatique d'essai AIPCR lisse normalisé traîné sur une chaussée préalablement mouillée, parallèlement à la direction du mouvement et perpendiculairement à la chaussée.

Cette remorque est dotée de deux roues porteuses (transport). Dans l'axe des roues porteuses, une roue de mesure est raccordée à l'une des roues porteuses par l'intermédiaire d'une transmission offrant un taux de glissement de 86 %. L'appareillage doit être conçu de manière à offrir une charge statique stable de 1 962 N à la roue d'essai.

L'épaisseur du film d'eau est de 0,5 mm et la vitesse d'essai est comprise entre 40 et 80 km/h. Le pneumatique est gonflé à 200 kPa à 20 C.

La procédure d'essai fait l'objet d'une spécification technique européenne (EN TS 15901-9).



Figure 18 : DWW NL

Le ROAR (ROad Analyser and Recorder)

Le ROAR (ROAd Analyser and Recorder of Norsemeter) est un appareil développé par la société norvégienne Norsemeter, permettant la mesure d'un coefficient de frottement longitudinal en continu, au pas de 20 m, avec une roue de mesure ayant un taux de glissement constant sur chaussée mouillée. L'épaisseur du film d'eau est de 0,5 mm et la vitesse d'essai est comprise entre 20 et 100 km/h. Deux versions du ROAR existent. La première version correspond à une remorque d'essai dont le pneu de mesure a un taux de glissement de 20%. La deuxième version est un véhicule de type poids lourd dont la roue de mesure est montée à l'arrière du véhicule et ayant un taux de glissement de 86%. Le pneumatique d'essai est conforme à la norme ASTM 1551. Il est gonflé à 200 (version poids lourd) ou 207 kPa (version remorque) à 20 C selon la version considérée. La charge statique à la roue de mesure est de 1200 N. La procédure d'essai fait l'objet de deux spécifications techniques européennes selon le type de véhicule porteur (EN TS 15901-5 pour la version remorque et EN TS 15901-2 pour la version poids lourd).



Figure 19 : Les deux versions du ROAR (Road Analyser and Recorder)

4/ 2.4 La machine Wehner et Schulze

La machine Wehner et Schulze est un appareil allemand, permettant de reproduire en laboratoire l'usure – par polissage – générée par le trafic d'un échantillon constitué d'enrobé ou de granulats et de suivre l'évolution de son coefficient de frottement. Les échantillons sont des disques circulaires de 22,5 cm de diamètre. Les échantillons d'enrobé sont prélevés par carottage dans la chaussée ou dans des plaques fabriquées en laboratoire. Les essais sur enrobé sont réalisés suivant la norme NF EN 12697-49 (2012).

Le polissage est assuré par trois cônes en acier recouvert de caoutchouc disposés à 120° sur un disque rotatif. Les cônes roulent et frottent sur l'échantillon. Un mélange constitué d'eau et d'abrasif (sable très fin) est projeté entre l'échantillon et la gomme, de façon à accélérer l'usure. La machine est programmée afin de réaliser un nombre donné de rotations puis elle est stoppée automatiquement.

Après nettoyage à l'aide d'un jet d'eau, l'éprouvette est déplacée vers la tête de mesure de frottement. Celle-ci est composée de trois petits patins de gomme (surface d'environ 5 cm²) disposés à 120° sur un disque rotatif. Pour la mesure du frottement, le disque est lancé jusqu'à atteindre une vitesse de 100 km/h sur sa circonférence. A 100 km/h, l'eau est projetée à la surface de l'éprouvette, le moteur est coupé et le disque est descendu jusqu'au contact avec la surface de l'éprouvette. La rotation du disque est stoppée par le frottement entre les patins de gomme et la surface de l'éprouvette : une courbe de freinage est enregistrée. Les valeurs de coefficient de frottement à 20 km/h (μ_{WS20}), 40 km/h (μ_{WS40}) et 60 km/h (μ_{WS60}) sont relevées.

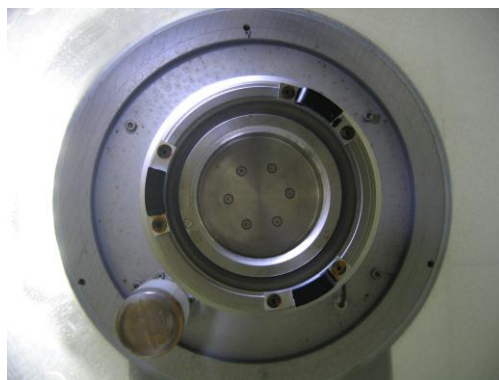


Figure 20 : La machine Wehner et Schulze – vue générale et du disque de mesure avec ses trois patins en caoutchouc

4/ 3 : MESURES CONVENTIONNELLES DE LA TEXTURE DE SURFACE

La mesure de la macrotexture des revêtements de chaussées peut être effectuée :

- soit par une détermination stationnaire ponctuelle en utilisant la méthode volumétrique de l'essai à la tâche – **Profondeur Moyenne de Texture** (Norme NF EN 13036-1, méthode d'essai LPC N° 50 V2).,
- soit par une détermination dynamique continue en utilisant une méthode profilométrique qui consiste à faire un relevé de profils de la texture d'un revêtement de chaussée – **Profondeur Moyenne de Profil** (Norme NF EN ISO 13473-1, méthode d'essai LPC N° 50 V2).

4/ 3.1 Méthode volumétrique : l'essai à la tâche (PMT)

L'essai à la tâche consiste à araser un volume connu V de billes de verre calibrées sur chaussée puis à déterminer la surface couverte S . La PMT est calculée à l'aide du rapport V/S .

Norme de référence : NF EN 13036-1

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

Précision de mesure (source norme NF EN 13036-1)

- Répétabilité : 12% de la valeur mesurée sur un lot (25 mesures minimum pour une longueur de 1000 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 $PMT \leq 0,25$ mm n'a pas de signification
- Les mesures sont faussées sur des enrobés venant d'être appliqués et encore chauds (problème de collage)
- 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 les billes de verre des voies de circulation après mesure (risque de glissance)
- En cas de vent, protéger le point de mesure

Commentaire

La PMT nécessite un grand nombre de mesures pour donner une appréciation significative de la macrotexture d'un revêtement.

La reproductibilité de cet essai est médiocre, car elle dépend fortement de l'opérateur, la norme ne spécifiant pas le matériau et le diamètre du palet, le nombre de tours et la pression exercée.

4/ 3.2 Méthodes optiques

4/ 3.2.1 Le RUGO 2

Le RUGO2 est une méthode profilométrique qui réalise une mesure de la distance appareil-chaussée, à fréquence élevée (16 000 Hz) afin de déterminer le profil de la route. Un traitement statistique des mesures permet le calcul d'une PMP, indicateur de la macrotexture.

Figure 21 : Appareil de mesure RUGO



Figure 21 : Appareil de mesure RUGO

Norme de référence : NF EN 13473-1

Expression des résultats

- PMP : Profondeur Moyenne de Profil, exprimée en mm.
- Les valeurs de PMP sont du même ordre de grandeur que celles de PMT.
- On calcule un indicateur appelé Profondeur de Texture Equivalente (PTE) à partir de la Profondeur Moyenne de Profil (PMP), qui puisse être comparé à la Profondeur Moyenne de Texture (PMT). Cf.4.5.1
- Les valeurs sont fournies en continu au pas de 10 m ou 20 m.

Précision de mesure (source centre vérificateur)

- Répétabilité : 9 % sur un lot
- Reproductibilité : 15 % sur le même lot par rapport à des valeurs de PMP comprises entre 0,5 et 1,3 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). 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. Le relevé de PMP doit être réalisé sur chaussée sèche et propre.

4/ 3.2.2 Autres méthodes optiques

D'autres appareils sont disponibles afin de mesurer la macrotexture des revêtements (PMP) suivant la norme ISO EN 13473-1. Parmi ceux-ci, on peut distinguer :

- Des appareils de mesure statique ;
- Des appareils de mesure dynamique.

Les appareils de mesure statique utilisent deux types de technologie : profilométrie laser ou mesure stéréographique.

Pour la profilométrie laser, on recense les matériels suivants :

- CTM ou CT Meter, appareil japonais, permettant une mesure ponctuelle de la macrotexture sur un profil le long d'un cercle de 142 mm de rayon. Il est muni d'un bras rotatif sur lequel est monté un capteur de déplacement à laser CCD, qui mesure la position de la surface par triangulation, selon le même principe que le Rugolaser. Le profil obtenu est composé de 1024 points au pas de 0,87 mm soit 892 mm de long. Une norme spécifique ASTM E2157-9 existe pour cet appareil. Il est possible de coupler la mesure CTM à la mesure DFT (4.2.3) ce qui permet d'obtenir, sur un point de mesure, à la fois la macrotexture et le coefficient de frottement.



Figure 20 : Appareil CTM

- Le ELAtextur®, appareil allemand, permettant une mesure ponctuelle sur un profil circulaire de 400 mm de long (mesure standard) ou de 200mm de long (option). Le profil est divisé en segments de 100 mm de long sur lequel une valeur individuelle de PMP est déterminée. La moyenne des valeurs individuelles calculées sur la circonférence totale fournit le résultat de la mesure.



Figure 21 : Appareil ELAtextur

- RMS de Dufournier Technologie, appareil français, permettant une mesure ponctuelle de la PMP sur une longueur de 75mm avec un pas de mesure de 25 μ m.

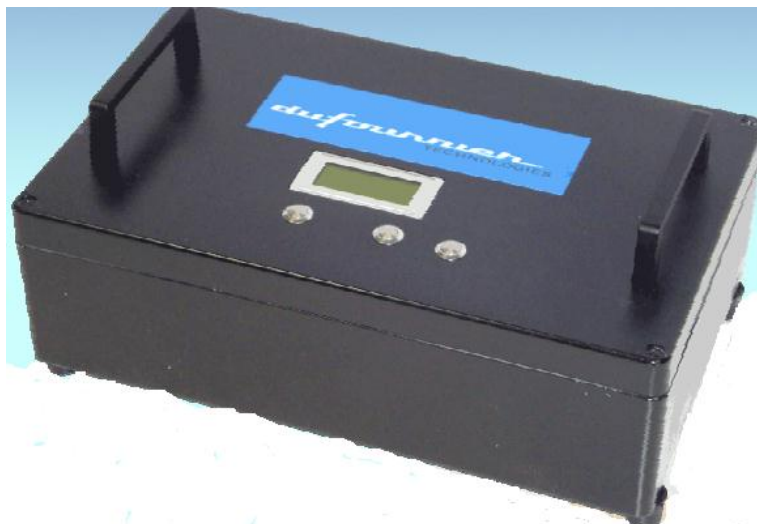


Figure 22 : Appareil RMS - Dufournier Technologie

L'autre type de technologie pouvant également être utilisée est la stéréophotographie. Le principal intérêt est d'obtenir une cartographie 3D de la surface au lieu d'un profil 2D. Un appareil français nommé TexRoad3D a été développé sur ce principe. Il réalise plusieurs photographies sous différents éclairages d'une même zone et un algorithme de traitement d'image permet de reconstituer le relief d'une surface carrée de 200*200 mm². Ensuite, une PMP moyenne sur cette surface est calculée.



Figure 23 : Appareil TexRoad3D

Enfin, d'autres profilomètres à grand rendement existent en Europe comme le LaserProf, matériel allemand qui permet simultanément ma mesure d'uni et de macrotexture. Le principe de calcul de la PMP est similaire à celui du RUGO.

4/ 4 : LE CONTROLE DES MOYENS DE MESURES AU TRAVERS DES CENTRES VERIFICATEURS

4/ 4.1 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 peuvent garantir l'équivalence des résultats entre deux appareils. Ceux-ci doivent être qualifiés par rapport à la méthode d'essai des LPC n°50 ainsi que par rapport aux normes d'essai NF, EN ou ISO appelées en référence dans cette méthode.

4/ 4.2 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 reproductibilité et la répétabilité 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.

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 le RUGO 2, le contrôle métrologique et les essais croisés sont organisés par le CECF d'Angers sur les planches de l'IFSTTAR de Nantes.

Pour le pendule SRT, le CETE Nord Picardie est chargé des contrôles métrologiques périodiques.

Pour l'ADHERA, le centre vérificateur est géré par le Département Laboratoire de Lyon qui organise les essais et délivre le certificat de Conformité. Le CECF de Rouen réalise le contrôle métrologique. Une fois ces vérifications réalisées, des essais sont organisés sur les planches de référence de l'IFSTTAR de Nantes.

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

Pour l'IMAG, le STAC joue le rôle de centre vérificateur et organise régulièrement des essais croisés.

4/ 4.3 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 d'essais 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 être identiques.

4/ 5 : METHODE DE RECEPTION DES COUCHES DE ROULEMENT

4/ 5.1 Méthode profilométrique

La norme européenne NF EN ISO 13473-1 a remplacé la norme française NF P98 216-2. Les capteurs de mesure RUGO ont été conservés mais les calculs effectués à partir des paramètres que les capteurs relèvent ont été modifiés. Le résultat de l'essai, réalisé avec le RUGO, est exprimé en PMP (Profondeur Moyenne de Profil).

De plus, une PTE (Profondeur de Texture Equivalente) peut être estimée en utilisant la relation informative définie dans la norme européenne : $PTE = 0,8 PMP + 0,2$

Afin d'annuler le risque encouru par le maître d'ouvrage de surestimer la macrotexture pour les faibles niveaux, il est recommandé d'utiliser la loi

PTE = 1,1 x PMP

Cette loi constitue un « plancher » dans la mesure où l'on peut estimer que la PMP « vraie » sera toujours supérieure ou égale à l'estimation donnée par la PTE issue de la loi ci-dessus. Cette relation est statistiquement significative.

4/ 5.2 Méthode de réception des couches de roulement neuves

Les mesures contractuelles de contrôle de la macrotexture ne visent que les couches de roulement définitives des chaussées. Elles peuvent s'appliquer aux couches de roulement provisoires lorsque, exceptionnellement, les couches de roulement définitives sont différées au-delà de l'achèvement des chantiers.

Le contrôle de la macrotexture doit être effectué dans un délai maximal de six semaines après la fin de la mise en œuvre de la couche de roulement.

Il est également rappelé que ce contrôle de conformité doit s'effectuer sur enrobé bitumineux refroidi.

L'organisation générale du contrôle de la macrotexture prévoit de prononcer la réception d'une section de caractéristiques homogènes par découpage de celle-ci en lots de contrôle définis à partir du point de départ de la section.

Chaque lot de contrôle a une longueur de 500 mètres à 1000 mètres ou au plus une longueur équivalente à une journée d'application et une largeur égale à celle d'une voie de circulation.

La position exacte du point de départ de la section ainsi que la définition exacte des lots sont fixées par le maître d'œuvre. Les lots de contrôle sont consécutifs sur une voie de circulation sauf dispositions contraires précisées dans le marché.

L'extrémité de la section est incluse dans le dernier lot de contrôle de chaque voie de circulation. Pour un chantier de longueur inférieure à 500 mètres, le lot de contrôle correspond à la longueur du chantier et ce pour chaque voie de circulation. Les spécifications sont applicables à chacun des lots de contrôle ainsi constitués. Elles concernent l'ensemble d'une section de caractéristiques homogènes à l'exclusion des points singuliers, lesquels doivent faire l'objet d'une réception particulière adaptée.

Le contrôle de la macrotexture peut être effectué :

- par une mesure stationnaire ponctuelle utilisant la méthode volumétrique de l'essai à la tache aux billes de verre (norme EN 13036-1) : c'est l'essai de référence. Chaque lot de contrôle fait l'objet d'une mesure à un pas prédéfini dans la bande de roulement droite et dans l'axe de la voie de circulation. Pour chaque lot de contrôle, on calcule la moyenne des valeurs de PMT mesurées dans chacune des deux lignes de mesure.
 - Pour un lot < 500m le pas de mesure est de 20m à valider
 - Pour un lot ≥ 500m le pas de mesure est adapté afin d'assurer la représentativité du résultat avec un pas maximum recommandé de 40m. En cas d'une valeur élémentaire hors spécifications, on revient à un pas de mesure tous les 20m sur une zone comprise en deux valeurs élémentaires respectant les spécifications et incluant les points hors spécifications
- par une mesure dynamique continue en utilisant une méthode profilométrique (EN 13473-1) : le résultat de cet essai est recalé par rapport à celui de l'essai de référence (détermination d'une PTE). Chaque lot de contrôle fait l'objet d'une mesure en continu dans la bande de roulement droite et dans l'axe de la voie de circulation. Chacune des deux lignes de mesure est découpée en segments de 20 mètres de longueur, et sur chaque segment est déterminée une valeur moyenne de PTE. Pour chaque lot de contrôle, on calcule la moyenne des valeurs de PTE obtenues sur chacune des deux lignes de mesure.

La moyenne des valeurs de PMT (respectivement PTE) de chaque lot de contrôle est comparée à la valeur moyenne spécifiée $PMT_{Spé}$. Les valeurs élémentaires de PMT (respectivement PTE) sont comparées à la valeur minimale spécifiée PMT_{Min} . Ces valeurs spécifiées sont définies dans le tableau 1 figurant au chapitre-5.3.

Un lot de contrôle est accepté si d'une part la moyenne des valeurs de PMT ou de PTE obtenues sur chacune des deux lignes de mesure est supérieure ou égale à la valeur moyenne spécifiée $PMT_{Spé}$ et si d'autre part il n'existe pas deux valeurs élémentaires de PMT ou de PTE consécutives situées sur la même ligne de mesure ou sur le même profil en travers des deux lignes de mesure, inférieures à la valeur minimale spécifiée PMT_{Min} .

Un lot de contrôle est non conforme dans les cas suivants :

1. si la moyenne des valeurs de PMT obtenue sur l'une ou l'autre des deux lignes de mesure est égale ou inférieure à la valeur minimale spécifiée PMT_{Min}
2. si deux valeurs élémentaires de PMT consécutives situées sur la même ligne de mesure ou sur le même profil en travers des deux lignes de mesure, sont inférieures à la valeur minimale spécifiée PMT_{Min} .
3. si la moyenne des valeurs de PMT obtenues dans la bande de roulement droite ou dans l'axe de la voie de circulation, est égale ou inférieure à la valeur moyenne spécifiée $PMT_{Spé}$.

La non-conformité d'un lot de contrôle ne peut pas être prononcée sur la base de valeurs de PTE. Chaque fois qu'un résultat obtenu par une méthode profilométrique ne permet pas d'accepter un lot de contrôle, on effectue des mesures de PMT.

La même méthode de mesure est utilisée pour la réception de la totalité des lots de contrôle.

Les méthodes optiques pour la réception des chaussées en macrotecture : quelle évolution ?

Les méthodes de mesure de la macrotecture par des techniques optiques (profilométriques ou surfaciques) constituent des alternatives séduisantes à la mesure volumétriques (méthode à la tache).

A ce jour certaines méthodes comme le RUGO2 sont opérationnelles mais encore insuffisamment employées pour qu'elles puissent constituer une alternative de référence à la méthode à la tache pour la réception des ouvrages, sur la base des mêmes spécifications. En effet les spécifications présentes actuellement dans les CCTP ont été établies sur la base l'expérience de la méthode à la tache. Les corrélations connues à ce jour entre méthode à la tache et méthode profilométrique montrent que cette dernière méthode permettrait le plus souvent de déclarer la conformité des lots dans les cas de spécifications par le bas (minima spécifiés pour la moyenne et l'ensemble des mesures) mais ne montrent pas une identité parfaite des résultats : moyenne, minimum, maximum notamment.

Le GNCDS souhaite faire évoluer cette situation afin de valider les méthodes optiques pour la réception des ouvrages. En effet ces méthodes sont plus rapides, plus globales et moins contraignantes d'emploi (fermeture de la chaussée) que la méthode à la tache. Par contre à ce jour les méthodes optiques requièrent un délai de quelques semaines entre la mise en œuvre et la mesure, ce point devra être pris en compte et éventuellement précisé.

Le GNCDS invite donc les maîtres d'ouvrage et les entreprises à faire réaliser pendant une période transitoire de 3 ans la réception des ouvrages avec deux méthodes : la méthode volumétrique (PMT) qui fera foi et une méthode optique (RUGO2 ou autre) à titre comparatif. L'emploi de cette seconde méthode aura notamment pour avantage de fournir une indication sur l'homogénéité de macrotecture au maître d'œuvre. Ces résultats comparatifs seront transmis au GNCDS qui en réalisera l'analyse avec pour objectif la validation de la méthode optique. [*Contact à préciser = « boîte aux lettres internet » hébergée par le site de l'IDRRIM ou par l'IFSTTAR?*]

Le GNCDS s'intéressera notamment pour chaque lot réceptionné à la comparaison de la valeur moyenne, de la valeur minimale et de la valeur maximale. Cette analyse prendra en compte les spécifications recommandées par le présent guide et couramment rencontrées dans les marchés.

Les méthodes optiques alternatives proposées permettant d'assurer une réception fiable des ouvrages équivalente à la méthode à la tache seront validées par le GNCDS à l'issue de la période transitoire, ou au-delà en fonction de l'obtention des données suffisantes à l'analyse.

CHAPITRE 5 – PRECONISATIONS

5/1 : INTRODUCTION

La démarche consiste pour chaque condition de circulation et chaque configuration du site, à :

- déterminer la demande d'adhérence,
- prendre en compte l'offre d'adhérence,
- rechercher la meilleure adéquation entre la demande et l'offre d'adhérence.

Cependant, le souci d'adapter l'offre à la demande ne doit pas conduire à gérer l'adhérence de façon trop différenciée, ce qui aboutirait à une succession de techniques différentes et par suite à une hétérogénéité de la chaussée qui pourraient avoir des effets néfastes sur les attentes des usagers et sur la gestion de l'itinéraire. Il est donc très souhaitable de traiter avec une seule technique des sections aussi longues que possible sans négliger toutefois les points singuliers.

5/2 : LA DEMANDE D'ADHERENCE

La demande d'adhérence est définie à partir d'une optimisation du couple macrotexture-microtexture pour une condition de circulation et une configuration de site donnée.

La demande d'adhérence se traduit par temps de pluie par des besoins sur les revêtements en termes :

- de macrotexture pour évacuer la lame d'eau s'interposant entre le pneumatique et la surface de la chaussée,
- de microtexture pour rompre le film d'eau résiduel et offrir ainsi le plus grand contact sec possible entre le pneumatique et la surface de la chaussée.

Une forte macrotexture est donc nécessaire lorsque la quantité d'eau à évacuer est importante : itinéraire à vitesse élevée, section induisant une grande longueur d'eau d'écoulement liée à la largeur de la chaussée et à ses pentes longitudinales et transversales.

Un bon niveau de microtexture est toujours nécessaire ; la demande en microtexture est toutefois plus élevée pour les itinéraires en sites difficiles ayant des virages à faibles rayons, ainsi que pour les points singuliers de tracé susceptibles de générer des variations de vitesse.

La microtexture dépend de nombreux paramètres liés à la formule et aux constituants mais les connaissances en la matière sont actuellement insuffisantes pour hiérarchiser leur influence relative.

Il convient cependant de rappeler que la microtexture initiale et sa durabilité sont en partie influencées :

- par la capacité des granulats à présenter et à conserver le plus longtemps possible des arêtes vives et à offrir une surface durablement rugueuse résistant bien au polissage induit par le trafic,
- par la formule du revêtement, en particulier par la dimension maximale des granulats et le pourcentage d'éléments fins.

La microtexture ne devient cependant totalement efficace que lorsque le film de liant superficiel a été décapé par le trafic.

Il n'est donc pas possible de procéder à la réception initiale du revêtement en microtexture par des mesures in-situ.

Les conditions à remplir vis-à-vis de la microtexture sont considérées atteintes dès lors que les exigences imposées sur les granulats et la formule du revêtement sont satisfaites. Elles sont de ce fait approchées à travers le choix du type et de la composition de la couche de roulement.

La microtexture pourra être appréciée en termes de durabilité par des mesures de coefficient de frottement (CFL, CFT, SRT, ...).

La demande d'adhérence est donc définie par la prise en compte simultanée de la macrotexture et de la microtexture du revêtement exprimé en termes de niveau initial et de durabilité.

5/3 : VALEURS RECOMMANDÉES

Les valeurs recommandées fournies à titre indicatif ci-après ne visent que la profondeur de macrotexture obtenue in situ. Elles sont modulées selon le type de l'itinéraire, la vitesse de circulation autorisée et la configuration du site.

Pour cela, il convient de découper l'itinéraire en sections de caractéristiques homogènes, correspondant à des séquences de conduites différentes fonction des conditions de circulation et des configurations de site ; et pour chacune d'elles :

- d'évaluer la demande d'adhérence, liée à la difficulté rencontrée en termes de condition de circulation (vitesse, trafic) et de configuration de site ainsi qu'à la présence de points singuliers,
- de déterminer le niveau de macrotexture répondant à cette demande hors points singuliers,
- de choisir le type de couche de roulement permettant de garantir ce niveau de macrotexture,
- de contrôler la composition et la mise en œuvre du revêtement sur chantier pour vérifier que l'objectif est atteint.

Les valeurs recommandées ci-après sont fixées en termes de profondeur de macrotexture exprimée en valeurs de profondeur moyenne de texture (PMT).

Deux niveaux de valeurs recommandées sont définis :

- un niveau moyen à atteindre ou à dépasser sur chaque ligne de mesure de chaque lot de contrôle ($PMT_{spé}$)
- un niveau minimal (PMT_{min}) en dessous duquel on ne doit pas rencontrer, sur un lot de contrôle :
 - deux valeurs élémentaires de PMT consécutives situées sur chacune des deux lignes de mesure,
 - deux valeurs élémentaires de PMT situées sur le même profil en travers des deux lignes de mesure.

Vitesse autorisée (km/h)	Tracé en plan Virages	Profil en long Pentés (6)	$PMT_{spé}$	PMT_{min}
$V \leq 50$	Tous les cas	Tous les cas	$\geq 0.40 \text{ mm}$ (1)	0.30 mm
$50 < V < 90$			$\geq 0.60 \text{ mm}$	0.40 mm
$V=90$	Tous les cas	bidirectionnelles et 2x2 voies, $P \leq 5\%$	$\geq 0.60 \text{ mm}$	0.40 mm
		2x3 voies et $P \leq 5\%$	$\geq 0.70 \text{ mm}$ (2)	0.50 mm
		$P > 5\%$	$\geq 0.80 \text{ mm}$ (3)(7)	0.60 mm
$V=110$	Tous les cas	2x2 voies et $P \leq 5\%$	$\geq 0.60 \text{ mm}$	0.40 mm
		2x3 voies et $P \leq 5\%$	$\geq 0.70 \text{ mm}$	0.50 mm
		$P > 5\%$	$\geq 0.80 \text{ mm}$ (3)(7)	0.60 mm
$V=130$	non déversé avec $R \geq 1000 \text{ m}$	2x2 voies et $P \leq 5\%$	$\geq 0.60 \text{ mm}$ (5)	0.40 mm
	ou déversé avec $R \geq 600 \text{ m}$ (4)	2x3 voies et $P \leq 5\%$	$\geq 0.70 \text{ mm}$ (5)	0.50 mm

Tableau 1 : valeurs recommandées générales de la macrotexture

(1) Pour un trafic ≥ 15000 véhicules/jour (TMJA) $PMT_{spé} \geq 0.60 \text{ mm}$ et $PMT_{min} = 0.4 \text{ mm}$.

(2) Les longueurs d'écoulement étant plus importantes, elles génèrent de fortes épaisseurs de lames d'eau d'où la nécessité d'une plus forte macrotexture.

(3) Valeur résultant de la prise en compte combinée du tracé en plan et du profil en long ainsi que de la présence d'une lame d'eau plus importantes sur ces zones.

(4) Les cas $R < 1000$ m sur virages non déversés et $R < 600$ m sur virages déversés-doivent être traités comme des points singuliers et faire l'objet d'une démarche particulière.

(5) Le cas $P > 5\%$ doit être traité comme un point singulier et faire l'objet d'une démarche particulière.

(6) La valeur de profil en long à retenir est la valeur maximum mesurée même ponctuellement sur l'ensemble de la section de caractéristiques homogènes.

(7) Les sections avec $P > 5\%$ et soumises à des conditions hivernales difficiles doivent être traitées comme des points singuliers

NB : pente > 5 % s'entend en descente

Recommandation sur la notion de macrotecture maximale :

Dans certains contextes particuliers (très fort trafic, forte pente, forte sinuosité, climat rigoureux) il est conseillé de fixer un seuil maximal de macrotecture. L'objectif est d'une part de limiter les désordres (de type ségrégation et arrachements de matériaux) et d'autre part de faciliter la viabilité hivernale.

Notamment, les BBTM présentent des valeurs de macro-texture élevées parmi les plus élevées des couches de roulement en enrobés hydrocarbonés. On peut retenir par exemple un seuil maximum de macrotecture de l'ordre de 1,6mm pour les BBTM 0/6 et 2,0mm pour les BBTM 0/10. Dans les régions à forte problématique de viabilité hivernale, le seuil maximum pourra être réduit de l'ordre de 0,2 – 0,3mm.

L'expérience montre une évolution globalement similaire de la macrotecture entre les BBTM 0/6 et BBTM 0/10.

5/ 4 : POINTS SINGULIERS

Il est difficile de dresser une liste exhaustive des points singuliers susceptibles d'être rencontrés sur une section de caractéristiques homogènes. Quelques exemples sont énoncés ci-après mais il convient d'adopter une approche particulière sur l'ensemble des points de l'itinéraire générant des sollicitations pneumatique-chaussée très fortes :

- zones de virages à rayon plus faible que le rayon moyen de l'itinéraire, virages à rayon irrégulier, premier virage rencontré après une section rectiligne,
- zones de ralentissement en approche d'intersections, de feux tricolores, de giratoires, ou d'environnement aggloméré,
- zones de transition telles que dépassement, rabattement, changement du nombre de voies de circulation,
- approche de gare de péage
- zones d'inversion de dévers, en particulier sur les itinéraires rapides,
- sections autoroutières ayant des virages non déversés de rayon inférieur à 1000m,
- sections autoroutières ayant de virages déversés de rayon inférieur à 600 m,
- sections autoroutières ou de voies rapides urbaines ayant une pente supérieure à 5%,
- etc...

Il n'est pas possible de préconiser des spécifications de macrotecture correspondant à ces configurations, néanmoins, à minima les points singuliers devront respecter les spécifications de la section homogène. Une réflexion particulière doit être menée au cas par cas et prendre en compte non seulement l'adhérence mais aussi les facteurs susceptibles de réduire voire de supprimer l'effet de surprise ressenti par les usagers : visibilité globale, signalisation, dispositif d'alerte....Le traitement global de ces points pourra se faire via un panel de techniques détaillées dans le chapitre « offre ».

5/ 5 : CAS DES COUCHES DE ROULEMENT PROVISOIRES

On entend par couche de roulement provisoire une couche amenée à être circulée par les usagers pendant la période de travaux avant de recevoir la couche de roulement définitive.

En fonction de la configuration du chantier et du phasage des travaux, le maître d'ouvrage devra apprécier la demande d'adhérence. Il pourra s'il le juge nécessaire se référer aux tableaux requis pour les couches de roulement définitives.

S'agissant de couches d'assise, le maître d'ouvrage pourra être amené à réaliser un traitement particulier (ECF, ESU...) visant à garantir un minimum d'adhérence.

5/ 6 : L'OFFRE D'ADHERENCE

L'offre d'adhérence est évaluée par les performances attendues des revêtements qui sont fonction de la nature des constituants et exprimés en terme de niveau initial et de durabilité.

La macrotexture initiale dépend de la dimension des granulats, de la formule du revêtement (allure de la courbe granulométrique), de sa mise en œuvre (compactage). Elle diminue dans le temps sous l'action du trafic et du climat, par indentation des gravillons dans le mortier, par des phénomènes de glaçage, ressuage, fluage, ... Elle peut augmenter dans certains cas lors d'arrachements.

La microtexture est en partie influencée par la capacité des granulats à conserver des arêtes vives et à offrir une surface durablement rugueuse résistant bien au polissage induit par le trafic. Elle est également influencée par la formule du revêtement, la dimension maximale des granulats et le pourcentage d'éléments fins. Elle peut diminuer rapidement lorsque les contraintes exercées par le trafic sont élevées notamment en site difficile.

5/ 6.1 Caractéristiques des granulats

Ainsi, les granulats utilisés en couche de roulement doivent respecter les dispositions normatives en vigueur (NF EN 13043 relative aux granulats pour enrobés bitumineux et enduits superficiels, NF P 18 545 relative aux granulats). Le tableau ci-dessous rappelle les spécifications d'usage courantes pour les caractéristiques intrinsèques des gravillons.

Les caractéristiques de fabrication ainsi que l'angularité des gravillons et des sables sont également des paramètres influant sur l'adhérence globale, il convient de se référer aux spécifications recommandées.

Caractéristiques intrinsèques des gravillons				
Classes de trafic				
Produits	< T3	T3	T2 – T1	≥ T0
BBSG BBME BBM	PSV ₅₀ LA ₂₅ M _{DE} 20		PSV ₅₀ LA ₂₀ M _{DE} 15	
BBDr BBTM	PSV ₅₀ LA ₂₀ M _{DE} 15			
ESU	PSV ₅₀ LA ₂₅ M _{DE} 20	PSV ₅₀ LA ₂₀ M _{DE} 15		
ECF	PSV ₅₀ LA ₂₅ M _{DE} 20		PSV ₅₀ LA ₂₀ M _{DE} 15	
Béton de ciment	PSV ₅₀ LA ₂₅ M _{DE} 20		PSV ₅₀ LA ₂₀ M _{DE} 15	

Tableau 2 : Caractéristiques intrinsèques des gravillons utilisés en couche de roulement

LA : coefficient Los Angeles caractérisant la résistance à la fragmentation

M_{DE} : coefficient Micro-Deval en présence d'eau caractérisant la résistance à l'usure

PSV : Polished Stone Value caractérisant la résistance au polissage

Du point de vue des caractéristiques de durabilité à savoir LA et M_{DE}, une compensation maximale de 5 points est possible.

Par ailleurs, sur les zones présentant des besoins plus importants en matière d'adhérence une valeur du PSV plus élevée pourra être imposée sur tout ou partie des gravillons par la maîtrise d'ouvrage.

5/ 6.2 Adéquation demande-offre d'adhérence

Le tableau 5 définit les principales réponses normalisées disponibles à ce jour en termes de produits en fonction de la demande d'adhérence. Les techniques proposées ne sont cependant pas exhaustives.

DEMANDE					OFFRE								
VITESSE AUTORISEE (km/h)		PROFIL EN LONG	PMTspé en mm	PMTmin en mm	BBSG et BBME	BBM	BBDr	BBTM	BC dénudé	ECF	ESU		
V ≤ 50	Tous les cas	Tous les cas	≥ 0,40	0,30	+	+		+		+			
50 < V < 90			≥ 0,60	0,40	+	+		+		+			
V = 90	Tous les cas	Pente ≤ 5 % Bi-direction & 2x2 voies	≥ 0,60	0,40	+	+	+(1)	+(2)	+	+(1)	+(1)		
		Pente ≤ 5 % 2x3 voies	≥ 0,70	0,50	=	=	+	+		=			
		Pente > 5 %	≥ 0,80	0,60	-(4)	=		=(2)	+	=(1)	=(1)		
V = 110	Tous les cas	Pente ≤ 5 % 2x2 voies	≥ 0,60	0,40	=	+	+(5)	+(3)	+	+(5)	=		
		Pente ≤ 5 % 2x3 voies	≥ 0,70	0,50	=	=	+	+		=			
		Pente > 5 %	≥ 0,80	0,60	-(4)	=		=(3)	+				
V = 130	R ≥ 1000 m ou R ≥ 600 m	Pente ≤ 5 % 2 X 2 voies	≥ 0,60	0,40	=	+	+	+	+	=			
		Pente ≤ 5 % 2 X 3 voies	≥ 0,70	0,50	=	=	+	+	+	=			
NIVEAUX DE MACROTEXTURE DE L'OFFRE	Norme produit de référence NF EN				13108-1		13 108-7	13108-2		12273	12271		
	Spécifications après mise en œuvre par type de produit selon la norme française NF P98-150-1 Niveau de macrotexture minimal exigé (PMT – selon NF EN 13036-1) pour 90 % des points contrôlés (en mm)				0/1 0	0/14	A 0/10 A 0/14 B 0/14	B 0/10 C 0/10	-	0,70 pour 0/6, 0,90 pour 0 /10			
					0,40	0,50	0,70	0,50					
	Niveau minimum de macrotexture (PMT – selon NF EN 13036-1) en mm selon la norme NF EN 12273 par classe de performance d'ECF									A 1,0	B 0,8 ou 1,0	C 0,4 ou 0,6 *	
Niveau minimum de macrotexture (PMT – selon NF EN 13036-1) en mm selon la norme NF EN 12271 par classe de performance d'ESU											A 1,0 ou 1,5 ou 2,0	B 0,7 ou 1,0 ou 1,5	C 0,5 ou 0,7 *

Tableau 3 : Adéquation demande-offre d'adhérence

Légende :

	Inadapté (6)
+	Convient bien
=	Peut convenir
-	Ne convient pas

- (1) A condition d'avoir des rayons ≥ 250 mètres
- (2) BBTM classe 1 recommandé si $R \leq 250$ mètres
- (3) BBTM classe 1 recommandé si $R \leq 600$ mètres
- (4) Ne permettent pas d'obtenir la $PMT_{spé} \geq 0,80$ mm mais peuvent être utilisés pour des sections (notamment à faibles rayons) soumises à des conditions hivernales difficiles
- (5) Si rayons ≥ 600 mètres
- (6) Ne convient pas pour d'autres raisons que l'adhérence (bruit, durabilité, viabilité hivernale, tenue mécanique, exploitation,...)
- (7) classe de performance type PND admise (performance non déterminée)

Le choix de la technique doit par ailleurs tenir compte des autres qualités attendues pour les couches de surface (liaison et roulement) à savoir le rôle d'étanchéité indispensable à la protection de l'assise de la chaussée, la résistance à l'orniérage, au fluage et à la fissuration, le caractère réducteur du bruit de roulement.

La satisfaction de l'ensemble de ces exigences parfois contradictoires conduit souvent à rechercher un compromis lequel est de plus fonction du contexte économique. Toutefois, il convient de privilégier la sécurité des usagers aux autres critères.

5/ 6.3 Revêtements à faible granularité (< 5 mm)

Depuis quelques années, des revêtements à faible granularité sont apparus car ils possèdent des caractéristiques acoustiques intéressantes pour la réduction du bruit généré par le trafic. Ces revêtements sont généralement appliqués entre 2 et 4cm, domaine des BBTM et BBM mais avec une répartition granulométrique différente.

Ces produits n'ont pas de spécifications propres au sens de la norme NF P 98 150-1, mais assurent un haut niveau d'adhérence :

- la macrotexture exigible dans le tableau 1 est satisfaite
- les niveaux de CFL se situent en partie supérieure du fuseau national tous revêtements.

Ces enrobés bitumineux étant des produits d'entreprises, celles-ci tiennent à disposition des maîtres d'œuvre les caractéristiques de leurs produits.

5/ 6.4 Traitement des points singuliers

Traitement des points singuliers

Le traitement d'un point singulier au sens du § V.4 ne s'envisage que s'il requiert un besoin d'adhérence supérieur à celui qu'offre la technique retenue pour la totalité de la section homogène.

En fonction du besoin d'adhérence lié au point singulier, l'application d'un produit à plus forte adhérence est possible.

Certaines techniques offrent une très haute adhérence, elles emploient en général des granulats à très fort PSV. (Enduit à haute adhérence, ECF à haute adhérence...).

5/ 6.5 Techniques d'amélioration de l'adhérence

Il existe des techniques de traitement de surface permettant d'améliorer l'adhérence de revêtements neufs ou anciens : grenailage, hydro régénération.



Figure 26 : Exemple de grenailage avec machine à faible rendement (CG28)



Figure 27 : Exemple d'hydrorégénération (appareil Ultra haute pression - Néovia Technologies)

Problème à traiter			Régénération possible		Commentaires
État du revêtement routier		Causes associées	Grenailage	Hydrorégénération	
Neuf	Macrotexture faible	PMT insuffisante	Oui	Oui	Gain potentiel : + 0,2 mm
		Glaçage	Non	Oui	Si pas de risque d'orniérage
		Surdosage liant	Non	Oui	
Ancien	Macrotexture faible	Ressuage (ESU)	Non	Oui	Grenailage : les billes restent enchâssées dans le liant
		fermeture du revêtement	Oui	Oui	Si pas d'orniérage
	Microtexture faible	polissage des granulats	Oui	Non	

Tableau 4 : Possibilités d'emploi des techniques de traitement de surface

Les gains en macrotexture sont généralement de l'ordre de 0.10 à 0.20mm.

L'emploi de ces techniques pour la régénération de l'adhérence a un bénéfice limité dans le temps. En effet, ces procédés ont tendance à fragiliser la tenue mécanique de l'enrobé et la surface des granulats. Il convient donc d'effectuer un suivi régulier des zones traitées. Ainsi, l'adéquation demande-offre d'adhérence consiste alors à choisir le revêtement qui offre l'adhérence la mieux adaptée à la demande tant au jeune âge qu'à moyen et à long termes.

CHAPITRE 6 – REGLES DE L'ART ET ADHERENCE

Ce chapitre reprend les points les plus importants des règles de l'art pouvant influencer sur l'adhérence des revêtements. Il met l'accent sur les principaux facteurs risquant de conduire à des défauts et les précautions à prendre pour éviter ces défauts.

6/1 CONSTITUANTS

6/1.1 Granulats

La conformité des granulats vis-à-vis de la norme NF P 18-545 et aux exigences du marché doit être vérifiée.

Ce contrôle inclut l'obtention d'une fiche technique produit (FTP) à jour et le contrôle à réception des granulats, préalablement au démarrage du chantier.

La qualité des fines a une importance, notamment sur le phénomène d'égouttage des produits à formulation fortement discontinue.

6/1.2 Agrégats d'enrobés recyclés

Il est nécessaire d'établir la fiche technique d'agrégats d'enrobés (FTAÉ) sur le stock d'agrégats d'enrobés qui sera employé pour le chantier. L'adéquation de la classe des agrégats d'enrobés à leur emploi doit être vérifiée.

Au cas où le projet inclut le recyclage des agrégats d'enrobés issus du chantier, une étude préalable est nécessaire afin d'optimiser le réemploi d'agrégats d'enrobés en vue de l'obtention d'une adhérence appropriée, par exemple par le rabotage différencié de la couche de roulement et des couches d'assises.

6/1.3 Liants

L'emploi de liants modifiés dans les formulations discontinues permet un meilleur maintien de la macrotexture à long terme sous forts trafics.

6/2 FORMULATION DES PRODUITS

6/2.1 Enrobés bitumineux

L'adhérence d'un revêtement obtenue sur chantier est directement liée à sa formulation. Cependant, la macrotexture est difficilement prédictible lors de l'étude de laboratoire. Le

retour d'expérience est donc déterminant. Aussi, pour de nouvelles formulations (courbe granulaire, nature et origine des granulats, type de liant), une planche d'essai peut être nécessaire pour valider le niveau de macrotexture in situ.

La recherche d'une macrotexture excessive par rapport au type d'enrobé retenu peut conduire à la dégradation d'autres caractéristiques (tenue à l'orniérage, module, risque de ségrégation, risque de post compactage...) et à la durabilité du revêtement.

6/2.2 Enrobés coulés à froid (ECF)

L'adhérence, et plus particulièrement la macrotexture des ECF, dépend sensiblement de l'épaisseur de mise en œuvre. Une diminution de la macrotexture est à craindre dans les zones de surépaisseur (reprofilage, zone d'orniérage du support...).

La durabilité de macrotexture est en général de l'ordre de 7 à 8 ans pour des trafics moyens à fort et supérieure pour des trafics faibles à moyen.

Les recommandations relatives aux ECF sont données dans le guide technique IDRRIM « Matériaux Bitumineux Coulés à Froid ».

6/2.3 Enduits superficiels d'usure (ESU)

Les ESU présentent en général une bonne adhérence et une forte macrotexture, qui dépend de la structure d'ESU et de la dimension du plus gros gravillon. A noter que plus la macrotexture est importante plus le revêtement devient bruyant.

La durabilité de la macrotexture globale, est en général de l'ordre de 8 à 10 ans pour des trafics moyens à fort et supérieure pour des trafics faibles à moyen.

Il est cependant possible que la macrotexture évolue de façon hétérogène en fonction du support et des sollicitations extérieures après quelques années.

6/3 FABRICATION DES ENROBES BITUMINEUX

La maîtrise de l'homogénéité et de la température de la production des enrobés bitumineux sont déterminantes sur la régularité de la macrotexture. Les points les plus importants à maîtriser sont les suivants :

- Les conditions de stockage et de reprise des granulats doivent assurer l'homogénéité des coupures granulométriques. Ces conditions sont vérifiables par un simple contrôle visuel préalablement à la fabrication.
- Le contrôle de la teneur en eau des granulats est indispensable, notamment pour les postes continus.
- Les contrôles des enrobés en cours de fabrication et sur le produit fini doivent être réalisés conformément au marché et suivant les normes en vigueur.
- La température de fabrication préconisée doit être respectée.

- La production doit être organisée de façon à limiter au maximum les arrêts de fabrication.

Concernant les agrégats d'enrobés, outre les préconisations ci-dessus, il est nécessaire de s'assurer du respect de la dimension des plus gros éléments agrégés (présence de mottes, plaques...) : une grille d'écrêtage est indispensable sur la trémie d'alimentation.

6/4 STOCKAGE

Le stockage des enrobés en trémie permet de favoriser la continuité de la fabrication et de l'approvisionnement du chantier.

Pour limiter le phénomène d'égouttage du liant, le stockage en trémie est fortement déconseillé au-delà de 30 minutes pour les formules fortement discontinues (BBTM, BBDr).

Pour les centrales continues, le passage de l'enrobé par une trémie anti-ségrégation est nécessaire.

6/5 TRANSPORT

La flotte de camions et l'organisation du transport doit permettre un approvisionnement régulier du chantier adapté au débit de l'atelier d'application.

La durée du transport et l'équipement des bennes doivent assurer l'approvisionnement des enrobés dans la plage de température préconisée.

Le bâchage est indispensable.

L'emploi de bennes calorifugées peut être nécessaire dans certains cas.

6/6 MISE EN ŒUVRE ET REMISE EN CIRCULATION

6/6.1 Enrobés

6/6.1.1 Généralités

Les éléments pouvant influencer sur la macrorugosité sont :

- Le support : planéité (épaisseur constante de la couche de roulement : plus l'épaisseur augmente, plus la macrotecture tend à diminuer).
- Les conditions atmosphériques : adaptées au type de produit.
- La température du produit : conforme à la plage de température préconisée.

6/6.1.2 Application

Les points sensibles lors de la mise en œuvre sont :

- Le matériel : qualité de la table et extensions (alignement), chauffage et propreté de la table, réglage vibration et dameurs, réglage des vis de répartition et palpeurs, réglage de l'alimentation.
- L'abordage finisseur / camions : cette opération doit être maîtrisée.
- La vitesse d'application : constante et adaptée aux exigences du marché. Il est nécessaire de minimiser les arrêts. Pour certaines formules (BBTM, BBM) la macrotecture dépend fortement de la vitesse d'application et impacte donc la cadence de mise en œuvre, en tenir compte dans l'organisation du chantier.
- Les formulations appliquées en faible épaisseur (BBTM) sont particulièrement sensibles à la qualité et au choix du matériel de mise en œuvre.
- Le travail à la main : à limiter au maximum derrière le finisseur.
- Une largeur d'application adaptée au cas du chantier.
- Les joints longitudinaux : à bannir dans les bandes de roulement, éviter les joints froids.

6/6.1.3 Compactage

L'atelier de compactage a une influence sur la macrotecture.

- Il peut être utile de réaliser une planche d'essai en début de chantier permettant de valider l'adéquation de l'atelier de compactage pour obtenir la macrorugosité spécifiée.
- Pour les formules à faibles teneurs en vides : les compacteurs tandem vibrant tendent à diminuer la macrotecture, alors que le compacteur à pneumatiques tend à l'augmenter. De manière générale et pour une formule donnée, plus la compacité augmente, plus la macrotecture diminue.
- Le respect du plan de compactage et de la distance des compacteurs au finisseur préalablement établis conduit à l'obtention d'une macrotecture plus homogène.
- Les compacteurs à pneumatiques doivent être en température pour éviter le collage (surtout avec les liants modifiés).

6/6.1.4 Remise en circulation :

Une température de remise en circulation excessive peut générer une diminution de la PMT dans les bandes de roulement ou des dégradations superficielles dans les zones d'efforts tangentiels. Le refroidissement de l'enrobé doit donc être suffisant avant mise en service (fonction du type de produit, du trafic et des conditions météorologiques). La prise en compte de ce délai doit faire partie de l'organisation du chantier.

Lors de la phase de décapage du film de liant par le trafic, la microtexture des granulats n'est pas mobilisée, dans certains cas il peut être nécessaire de prendre des précautions dans les zones de fortes girations (carrefours à giratoires, tracés sinueux, bretelles...) et de freinage.

Cette phase de décapage est plus longue avec les bitumes modifiés et les voies à faible trafic.

6/6.2 Enrobés coulés à froid

Granulats

Les conditions de stockage et de reprise des granulats influent nettement sur l'homogénéité (granulométrie et teneur en eau). Ces conditions sont vérifiables par un simple contrôle visuel préalablement à la fabrication.

Fabrication-Application

Le réglage du matériel doit permettre de mettre en œuvre la bonne composition et d'assurer la régularité du produit.

Les joints d'application ne doivent pas se trouver dans les bandes de roulement (risque de ressuage). Le compactage avec un compacteur à pneu ou à bande caoutchouc est optionnel, il n'est indispensable que pour les très faibles.

6/6.3 Enduits superficiels

6/6.3.1 Granulats

Les conditions de stockage et de reprise des granulats doivent assurer leur homogénéité (granulométrie et teneur en eau). Ces conditions sont vérifiables par un simple contrôle visuel préalablement à la fabrication.

6/6.3.2 Mise en œuvre

La réalisation des ESU requiert une équipe d'application très compétente et un matériel étalonné pour une bonne maîtrise du processus. Les préconisations établies lors de la reconnaissance doivent être suivies.

Dans les premiers jours, le rejet de gravillons diminue l'adhérence globale de la chaussée et impose la mise en place d'une adaptation des conditions de circulation et d'une information du risque aux usagers. Le rejet doit être balayé et aspiré dès que possible.

La mise en place de la mosaïque est progressive, la macrotexture est donc évolutive durant les premiers mois. L'évaluation de l'adhérence est réalisée après au moins trois mois de circulation.

ANNEXE - CLAUSES CONTRACTUELLES

Ce chapitre constitue un exemple de trame de rédaction pour l'élaboration des parties relatives à l'adhérence dans les CCAP et CCTP pour les marchés publics.

1 : CLAUSES CONTRACTUELLES POUR LE CAHIER DES CLAUSES ADMINISTRATIVES (CCAP)

Pour le contrôle de la macrotecture, l'itinéraire à traiter est découpé en sections de caractéristiques homogènes, pour lesquelles les niveaux à obtenir sont spécifiés au Cahier des clauses techniques particulières (CCTP).

On appelle une section à caractéristiques homogènes une partie de la route qui est comparable au niveau dimensionnement, aménagement, niveau du trafic et au niveau de l'exploitation, à l'exclusion toutefois des points singuliers, qui font l'objet d'une démarche particulière et d'un traitement spécifique défini au CCTP ou lors de la phase de préparation.

Le CCTP fixe les seuils en dessous desquels les lots de contrôle sont refusés.

Il n'y a pas de réfaction de prix pour non-conformité constatée de la macrotecture. Pour chaque lot de contrôle refusé, l'entrepreneur propose au maître d'œuvre une solution de remise en conformité immédiate de tout ou partie(s) de la couche de roulement permettant d'obtenir le niveau de macrotecture spécifié. Celle-ci ne doit pas conduire à l'alternance de techniques ayant des niveaux de macrotecture trop différents. Après remise en conformité de la couche de roulement, la macrotecture est de nouveau contrôlée selon les modalités prévues au CCTP. Les travaux de réfection de la couche de roulement ainsi que le contrôle de la macrotecture correspondant sont effectués aux frais de l'entrepreneur.

2 : CLAUSES CONTRACTUELLES POUR LE CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIÈRES (CCTP)

2.1 Méthode de contrôle de réception des couches de roulement neuves

Le contrôle de la macrotecture peut être effectué :

- par une mesure stationnaire ponctuelle utilisant la méthode volumétrique de l'essai à la tache aux billes de verre (norme EN 13036-1) : c'est l'essai de référence. Chaque lot de contrôle fait l'objet d'une mesure à un pas prédéfini dans la bande de roulement droite et dans l'axe de la voie de circulation. Pour chaque lot de contrôle, on calcule la moyenne des valeurs de PMT mesurées dans chacune des deux lignes de mesure.
 - Pour un lot < 500m le pas de mesure est de 20m à valider
 - Pour un lot $\geq 500m$ le pas de mesure est adapté afin d'assurer la représentativité du résultat avec un pas maximum recommandé de 40m. En cas d'une valeur élémentaire hors spécifications, on revient à un pas de mesure tous les 20m sur une zone comprise en deux valeurs élémentaires respectant les spécifications et incluant les points hors spécifications
- par une mesure dynamique continue en utilisant une méthode profilométrique (EN 13473-1) : le résultat de cet essai est recalé par rapport à celui de l'essai de référence (détermination d'une PTE). Chaque lot de contrôle fait l'objet d'une

mesure en continu dans la bande de roulement droite et dans l'axe de la voie de circulation. Chacune des deux lignes de mesure est découpée en segments de 20 mètres de longueur, et sur chaque segment est déterminée une valeur moyenne de PTE. Pour chaque lot de contrôle, on calcule la moyenne des valeurs de PTE obtenues sur chacune des deux lignes de mesure.

La moyenne des valeurs de PMT (respectivement PTE) de chaque lot de contrôle est comparée à la valeur moyenne spécifiée $PMT_{Spé}$. Les valeurs élémentaires de PMT (respectivement PTE) sont comparées à la valeur minimale spécifiée PMT_{Min} .

Un lot de contrôle est accepté si d'une part la moyenne des valeurs de PMT ou de PTE obtenues sur chacune des deux lignes de mesure est supérieure ou égale à la valeur moyenne spécifiée $PMT_{Spé}$ et si d'autre part il n'existe pas deux valeurs élémentaires de PMT ou de PTE consécutives situées sur la même ligne de mesure ou sur le même profil en travers des deux lignes de mesure, inférieures à la valeur minimale spécifiée PMT_{Min} .

Un lot de contrôle est non conforme dans les cas suivants :

- si la moyenne des valeurs de PMT obtenue sur l'une ou l'autre des deux lignes de mesure est égale ou inférieure à la valeur minimale spécifiée PMT_{Min}

Dans ce cas il sera procédé à la réfection du lot.

- si deux valeurs élémentaires de PMT consécutives situées sur la même ligne de mesure ou sur le même profil en travers des deux lignes de mesure, sont inférieures à la valeur minimale spécifiée PMT_{Min} .

Dans ce cas une solution de remise en conformité sera soumise au maître d'œuvre par l'entreprise (réfection partielle ou traitement de surface).

- si la moyenne des valeurs de PMT obtenues dans la bande de roulement droite ou dans l'axe de la voie de circulation, est égale ou inférieure à la valeur moyenne spécifiée $PMT_{Spé}$

Dans ce cas une solution de remise en conformité sera soumise au maître d'œuvre par l'entreprise (réfection partielle ou traitement de surface).

La non-conformité d'un lot de contrôle ne peut pas être prononcée sur la base de valeurs de PTE. Chaque fois qu'un résultat obtenu par une méthode profilométrique ne permet pas d'accepter un lot de contrôle, on effectue des mesures de PMT.

La même méthode de mesure est utilisée pour la réception de la totalité des lots de contrôle.

2.2 Période de réalisation de la réception de la macrotecture

Les mesures contractuelles de contrôle de la macrotecture ne visent que les couches de roulement définitives des chaussées. Elles peuvent s'appliquer aux couches de roulement provisoires lorsque, exceptionnellement, les couches de roulement définitives sont différées au-delà de l'achèvement des chantiers.

Le contrôle de la macrotecture doit être effectué dans un délai maximal de six semaines après la fin de la mise en œuvre de la couche de roulement.

2.3 Définition des lots

L'itinéraire à traiter est découpé en sections de caractéristiques homogènes.

Ce découpage a pour objectif d'individualiser des sections aussi longues que possible correspondant soit à des séquences de conduite différentes fonction des conditions de circulation et des configurations de site, à l'exclusion toutefois des points singuliers qui doivent faire l'objet d'une démarche particulière de traitement et compléter ainsi le CCTP en conséquence, soit à des phases d'application bien définies (exemple : une journée d'application).

L'organisation générale du contrôle de la macrotecture prévoit de prononcer la réception d'une section de caractéristiques homogènes par découpage de celle-ci en lots de contrôle définis à partir du point de départ de la section.

La position exacte du point de départ de la section est fixée par le maître d'œuvre. Les lots de contrôle sont consécutifs sur une voie de circulation sauf dispositions contraires précisées dans le marché.

L'extrémité de la section est incluse dans le dernier lot de contrôle de chaque voie de circulation.

Chaque lot de contrôle a une longueur de 500 mètres à 1000 mètres ou une longueur équivalente à une journée d'application et une largeur égale à celle d'une voie de circulation.

Pour un chantier de longueur inférieure à 500 mètres, le lot de contrôle correspond à la longueur du chantier et ce pour chaque voie de circulation. Les spécifications sont applicables à chacun des lots de contrôle ainsi constitués. Elles concernent l'ensemble d'une section de caractéristiques homogènes à l'exclusion des points singuliers, lesquels doivent faire l'objet d'une réception particulière adaptée.

Il conviendra de définir précisément, lors de la phase de préparation, les lots et spécifications associées, en utilisant les tableaux ci-dessous.

Itinéraire : -----		
PR début : -----		
PR fin : -----		
Sections	PR début	PR fin
A	---	---
---	---	---

Sections	Voies	Lots de contrôle		
		Nos	PR début	PR fin
A	---	---	---	---
		---	---	---

Tableaux 5 : Exemple de présentation du découpage

2.4 Spécifications

Les spécifications ci-après sont fixées en termes de profondeur de macrotexture exprimée en valeurs de profondeur moyenne de texture (PMT).

Deux niveaux de spécifications sont définis :

- un niveau moyen à atteindre ou à dépasser sur chaque ligne de mesure de chaque lot de contrôle ($PMT_{spé}$)
- un niveau minimal (PMT_{min}) en dessous duquel on ne doit pas rencontrer, sur un lot de contrôle :
 - deux valeurs élémentaires de PMT consécutives situées sur chacune des deux lignes de mesure,
 - deux valeurs élémentaires de PMT situées sur le même profil en travers des deux lignes de mesure.

Sections de caractéristiques homogènes	PMT spé (1)	PMTmin (1)

(1) à définir à partir du tableau 1 du présent guide

Tableau 6 : exemple de présentation des spécifications exigibles

Nota : dans les cas où le marché ne permet pas de définir au préalable les sections et donc leurs spécifications, il convient de faire référence à l'ensemble des cas du tableau 1.

BIBLIOGRAPHIE

- Circulaire 2002-39 : <http://www.bulletin-officiel.developpement-durable.gouv.fr/fiches/BO200210/A0100052.htm>
-
- Mesure de l'adhérence des chaussées routières et aéronautiques – méthode d'essai des LPC n°50 / version 2.0 (avril 2006)

- Normes

NF EN 13043 (2003-08-01)

Granulats pour mélanges hydrocarbonés et pour enduits superficiels utilisés dans la construction des chaussées, aérodromes et d'autres zones de circulation

NF P18-545 (2011-09-01)

Granulats - Éléments de définition, conformité et codification

NF EN 13108-1 à 20

Mélanges bitumineux - Spécifications des matériaux

NF P98-150-1 (2010-06-01)

Enrobés hydrocarbonés - Exécution des assises de chaussées, couches de liaison et couches de roulement - Partie 1 : enrobés hydrocarbonés à chaud - Constituants, formulation, fabrication, transport, mise en oeuvre et contrôle sur chantier

NF EN 12273 (2008-10-01)

Matériaux bitumineux coulés à froid - Spécifications

NF EN 12271 (2007-07-01)

Enduits superficiels - Spécifications

NF EN 13036-1 (2010-09-01)

Caractéristiques de surface des routes et aérodromes - Méthodes d'essai - Partie 1 : mesurage de la profondeur de macrotexture de la surface d'un revêtement à l'aide d'une technique volumétrique à la tache

NF EN 13036-4 (2012-03-01)

Caractéristiques de surface des routes et aérodromes - Méthode d'essai - Partie 4 : méthode d'essai pour mesurer l'adhérence d'une surface : l'essai au pendule

NF EN ISO 13473-1 (2004-10-01)

Caractérisation de la texture d'un revêtement de chaussée à partir de relevés de profils - Partie 1 : détermination de la profondeur moyenne de la texture

NF P98-216-2 (1994-11-01)

Essais relatifs aux chaussées - Détermination de la macrotexture - Partie 2 : méthode de mesure sans contact.

NF P98-220-2 (1994-11-01)

Essais relatifs aux chaussées - Essais liés à l'adhérence - Partie 2 : méthode permettant d'obtenir un coefficient de frottement longitudinal (adhérence longitudinale).

XP CEN/TS 15901-6 (2011-11-01)

Caractéristiques de surface des routes et aéroports - Partie 6 : mode opératoire de détermination de l'adhérence d'un revêtement de chaussée en procédant au mesurage du coefficient de frottement transversal (CFTS) : le SCRIM

XP CEN/TS 15901-7 (2011-11-01)

Caractéristiques de surface des routes et aéroports - Partie 7 : mode opératoire de détermination de l'adhérence d'un revêtement de chaussée à l'aide d'un dispositif à coefficient de frottement longitudinal fixe (CFLG) : le GripTester

ASTM E 1551 (2008-01-01)

Standard Specification for Special Purpose, Smooth-Tread Tire, Operated on Fixed Braking Slip Continuous Friction Measuring Equipment

ASTM E 1844 (2008-01-01)

Standard Specification for A Size 10 . 4-5 Smooth-Tread Friction Test Tire

ASTM E 1911 (2007-01-01)

Standard Test Method for Measuring Paved Surface Frictional Properties Using the Dynamic Friction Tester

ASTM E 2157 (2009-01-01)

Standard Test Method for Measuring Pavement Macrotexture Properties Using the Circular Track Meter

BS 7941-1:2006

Methods for measuring the skid resistance of pavement surfaces. Sideway-force coefficient routine investigation machine

Notes SETRA

- n° 77, Adhérence et texture des revêtements routiers - Méthodes et moyens de mesure (Juin 1993)
- n° 79, Techniques de régénération de l'adhérence des revêtements routiers (Août 1993)
- n° 91, Qualités d'usage des revêtements routiers en présence d'eau (Septembre 1996)
- n° 94, Bétons bitumineux très minces et ultra-minces (Avril 1997)
- n° 115, Amélioration de l'adhérence au jeune âge (Août 2005)

<http://www.setra.equipement.gouv.fr/Notes-d-information.html>

Notes CFTR

- n° 7, Aide au choix des couches de roulement vis-à-vis de l'adhérence (Juillet 2002)
- n° 8, Premier bilan de l'application des nouvelles circulaires de la Direction des routes sur l'uni longitudinal et l'adhérence des chaussées (Septembre 2004)
- n° 11, Mesure de l'adhérence des chaussées routières (Mars 2005)
- n° 16, Influence de l'eau sur l'adhérence des revêtements de chaussées (Septembre 2008)

<http://www.idrrim.com/publications/>

Notes GNCDS

- n° 3, Méthodes de mesure des principales caractéristiques de surface des revêtements de chaussées (Décembre 2009)
- n°4, Mesure de la macrotexture des revêtements de chaussées – Normes en cours de validité (Décembre 2009)

<http://www.idrrim.com/publications/>

- Matériels et méthodes d'auscultation des chaussées urbaines – CERTU (juillet 2005)
- LCPC – Bulletin des laboratoires des Ponts et Chaussées – Numéro spécial adhérence Avril/Mai/Juin 2005
- Bulletin des laboratoires des ponts et Chaussées – numéro spécial adhérence – LCPC (avril-mai-juin 2005)
- Aide au choix des techniques d'entretien des couches de surface des chaussées - Guide technique CFTR (juillet 2003)
- I.Q.R.N. - Images qualité du réseau routier national - Sétra (juillet 2000)
- Caractérisation d'adhérence de revêtements de chaussées routières – chaussées CR25 – Guy STASSE/LCPC (mars 2000)
- Rapport de recherche du LCPC « adhérence et texture : fichier CARAT : fuseau CFL par famille de revêtements » mars 1999
- Brosseaud Y., Brûlé N., « Panorama des couches de roulements des principaux réseaux routiers français : évaluation de leurs caractéristiques de surface », 44ème congrès annuel de l'association technique Canadienne du bitume, Québec nov. 1999
- Note d'info chaussée d'autoroutes N° 57 juillet 1998
- Expérience internationale de comparaison et d'harmonisation des mesures de glissance et de texture - AIPCR/Comité technique 1 Caractéristiques de Surface (1995)
- QRN, SETRA, Bilan 1994, 1995 et 1996

Bibliographie

- Guide technique SETRA (06/2003) : "Compactage des enrobés hydrocarbonés à chaud."
- Guides pratiques de construction routière n°53 et 54 : "Les enrobés bitumineux - Parties 1 et 2."
- Guide IDRRIM Enduits superficiels d'usure – à sortir
- Guide IDRRIM Matériaux bitumineux coulés à froid – à sortir

GLOSSAIRE

A

Adhérence : Qualité du contact pneu-route permettant au conducteur d'accélérer, de diriger et de freiner son véhicule (par opposition à la glissance d'une chaussée, qui traduit une insuffisance de cette adhérence).

Agrégat : matériau grenu d'origine minérale, calibré, destiné à être utilisé avec ou sans liant. Ce terme est employé comme synonyme de granulat pour les sables et les gravillons.

Agrégat d'enrobé : matériau de recyclage provenant du fraisage ou du concassage d'enrobés bitumineux destinés à être utilisés comme constituant de nouveaux enrobés bitumineux. Ils sont définis par la norme NF EN 13 108-8.

C

CFL : coefficient de frottement longitudinal (cf.4.2.1.1)

CFT : coefficient de frottement transversal (cf.4.2.2.1)

Colmatage (pour enrobés drainants) : résultat de l'obstruction des vides par les salissures des chaussées provenant de la circulation ou des conditions atmosphériques.

Compactage : opération consistant à réduire mécaniquement le volume apparent d'un terrain ou d'un matériau. L'objectif du compactage est d'amener le matériau mis en œuvre à sa compacité spécifiée.

D

Distance de freinage : Distance parcourue par un véhicule roulant à vitesse constante, depuis le début de l'opération de freinage jusqu'à son immobilisation A ne pas confondre avec la distance d'arrêt qui inclus également le temps de perception-réaction du conducteur.

G

Granulats : Ensemble de grains de dimensions compris entre 0 et 80mm. Ils entrent dans la constitution des matériaux de chaussées, il comprend les fillers, les sables, les graves et les gravillons. La norme de spécifications sur les granulats est la NF P18-545.

Grenaillage : Le grenaillage est une technique consistant à projeter des billes, en général d'acier, sur la surface de la chaussée afin d'en modifier ses caractéristiques de surface. Pour ce qui concerne l'adhérence, le grenaillage permet de décaper le film de mastic superficiel et donc d'améliorer la macrotecture, mais aussi d'améliorer la microrugosité des granulats.

H

Hydro-régénération : L'hydro régénération est une technique consistant à projeter de l'eau sous très haute pression sur la surface de la chaussée afin d'en améliorer la macrotecture, en éliminant une partie du mastic voire du mortier superficiel.

L

LA : coefficient Los Angeles caractérisant la résistance à la fragmentation (NF EN1097-2). L'échantillon, de fraction 10/14mm, subit un cycle de broyage à sec dans un broyeur à boulets. Son degré de fragmentation est apprécié par la proportion de l'échantillon devenue plus petite que 1.6mm.

M

Macrotecture : Dénivellation d'un revêtement (en creux ou en bosse) caractérisée par des dimensions horizontales comprises entre 0.5 et 50 mm et des dimensions verticales comprises entre 0.2 à 10 mm. La macrotecture est déterminante pour l'adhérence, elle intervient aussi dans les domaines du bruit de roulement, des projections d'eau, de la résistance au roulement et de l'usure des pneumatiques.

MDE : coefficient Micro-Deval en présence d'eau caractérisant la résistance à l'usure d'un gravillon pour chaussées (NF EN 1097-1). L'essai est réalisé sur la fraction 10/14mm. L'échantillon subit un cycle conventionnel d'usure par des billes inox à l'intérieur d'un cylindre rotatif en présence d'eau. Le degré d'usure de l'échantillon est apprécié par la proportion devenue plus petite que 1.6mm.

Microtexture : Dénivellation d'un revêtement ou d'un granulat caractérisée par des dimensions horizontales comprises entre 0 et 0.5 mm et des dimensions verticales de moins de 0.2 mm. La microtexture est directement liée à la face visible des granulats donc à leur nature pétrographique, à leurs arêtes et, pour certaines formulations, bétons de ciment et enrobés bitumineux avec liants très améliorés à la rugosité du mortier. La microtexture est déterminante pour l'adhérence de la chaussée.

O

Orniérage : L'orniérage est une déformation permanente longitudinale de la chaussée caractérisée par un tassement de celle-ci qui se crée sous le passage répété des roues. Lorsque l'orniérage a pour cause le fluage de l'enrobé, il y a formation de bourrelets de part et d'autre de l'ornière. Vis à vis de l'adhérence, l'orniérage est propice à l'accumulation d'eau dans les bandes de roulement, et donc à la perte d'adhérence par aquaplanage.

P

PMT : profondeur moyenne de texture (cf.4.3.2)

PMP : profondeur moyenne de profil (cf.4.3.2.1)

PTE : profondeur de texture équivalente (cf.4.3.2.1)

PSV : Polished Stone Value (anciennement coefficient de polissage accéléré) caractérisant la résistance au polissage (NF EN 1097-8) des gravillons. Il permet de déterminer l'évolution de la microrugosité d'un gravillon dans le temps. Il ne concerne que les granulats utilisés en couche de roulement.