



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

Bundesamt für Strassen
Office fédéral des routes
Ufficio federale delle Strade

Réception de l'adhérence de nouveaux revêtements sur la base de la macrotexture

**Abnahmemessung der Griffigkeit von neuen Deckschichten
anhand von Makrotexturaufnahmen**

**Acceptance test of skid resistance for new pavement
surfaces based on macrotexture measurements**

Nibuxs Sàrl
Mehdi Ould Henia, Ing. civil, dr ès science EPF
Marc Delaby, Ing. civil EPF

SACR AG (jusqu'au 30.06.2010)
Alain Jacot, Ing. civil EPF

**Projet de recherche VSS 2008/702 sur demande de l'Association suisse
des professionnels de la route et des transports (VSS)**

Der Inhalt dieses Berichtes verpflichtet nur den (die) vom Bundesamt für Strassen unterstützten Autor(en). Dies gilt nicht für das Formular 3 "Projektabschluss", welches die Meinung der Begleitkommission darstellt und deshalb nur diese verpflichtet.

Bezug: Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Le contenu de ce rapport n'engage que les auteurs ayant obtenu l'appui de l'Office fédéral des routes. Cela ne s'applique pas au formulaire 3 « Clôture du projet », qui représente l'avis de la commission de suivi et qui n'engage que cette dernière.

Diffusion : Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS)

La responsabilità per il contenuto di questo rapporto spetta unicamente agli autori sostenuti dall'Ufficio federale delle strade. Tale indicazione non si applica al modulo 3 "conclusione del progetto", che esprime l'opinione della commissione d'accompagnamento e di cui risponde solo quest'ultima.

Ordinazione: Associazione svizzera dei professionisti della strada e dei trasporti (VSS)

The content of this report engages only the author(s) supported by the Federal Roads Office. This does not apply to Form 3 'Project Conclusion' which presents the view of the monitoring committee.

Distribution: Swiss Association of Road and Transportation Experts (VSS)



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

Bundesamt für Strassen
Office fédéral des routes
Ufficio federale delle Strade

Réception de l'adhérence de nouveaux revêtements sur la base de la macrotexture

**Abnahmemessung der Griffigkeit von neuen Deckschichten
anhand von Makrotexturaufnahmen**

**Acceptance test of skid resistance for new pavement
surfaces based on macrotexture measurements**

Nibuxs Sàrl
Mehdi Ould Henia, Ing. civil, dr ès science EPF
Marc Delaby, Ing. civil EPF

SACR AG (jusqu'au 30.06.2010)
Alain Jacot, Ing. civil EPF

**Projet de recherche VSS 2008/702 sur demande de l'Association suisse
des professionnels de la route et des transports (VSS)**

Impressum

Instance de recherche et équipe de projet

Direction du projet

Mehdi Ould-Henia, Nibuxs Sàrl

Membres

Marc Delaby, Nibuxs Sàrl

Alain Jacot, SACR AG (jusqu'au 30.06.2010)

Commission d'experts responsable

Commission d'experts CNR 4.1 : Dimensionnement, terrassement, superstructure

Commission de suivi

Présidente

Luzia Seiler

Membres

Martin Horat

Yvan Ramel

Christophe Rohr

Auteur de la demande

Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS)

Source

Le présent document est téléchargeable gratuitement sur <http://www.mobilityplatform.ch>.

Table des matières

Impressum	4
Résumé	7
Zusammenfassung	9
Summary	11
 1 Notions de base	 13
1.1 Phénomène d'adhérence	13
1.2 Définition de la texture	13
 2 Variation de l'adhérence.....	 17
2.1.1 Effet du film d'eau	17
2.1.2 Effet de l'usure mécanique des granulats.....	18
2.1.3 Effet du film de liant en surface.....	19
2.1.4 Variation saisonnière.....	21
2.1.5 Vieillessement	21
2.1.6 Loi d'évolution de l'adhérence.....	21
 3 Mesures de la texture et de l'adhérence.....	 23
3.1 Mesure directe de la macrotexture	23
3.2 Mesure directe de la microtexture.....	24
3.3 Mesure du coefficient de frottement.....	25
3.4 Mesure du polissage	27
 4 Les directives et exigences en matière de texture	 29
4.1 Cas de la France	29
4.2 Cas du Royaume-Uni.....	30
 5 Situation en Suisse	 33
5.1 Cadre normatif en Suisse.....	33
5.2 Texture et adhérence	33
5.3 Répartition statistique des valeurs de texture et d'adhérence	34
5.3.1 Adhérence	34
5.3.2 Texture	35
5.4 Corrélation entre la texture et l'adhérence.....	35
5.4.1 Comparaison de la texture et l'adhérence pour des revêtements récents	35
5.4.2 Revêtements avec une faible texture.....	37
5.4.3 Revêtements avec une faible adhérence.....	37
5.5 Profondeur moyenne de profil par sorte d'enrobé de couche de roulement	38
5.6 Synthèse de la situation en Suisse	41
 6 Conclusions et recommandations	 43
6.1 Conclusions.....	43
6.2 Recommandations	44
 Annexes	 45
Glossaire	51
Bibliographie	53
Clôture du projet	55
Index des rapports de recherche en matière de route	59

Résumé

La qualité antidérapante d'une chaussée routière est la conséquence d'une combinaison complexe de phénomènes physiques agissants à l'échelle de la microtexture et de la macrotexture de la surface du revêtement.

La réception de la qualité antidérapante des nouveaux revêtements se heurte à la problématique de la faible valeur du coefficient de frottement de la surface au jeune âge. Ce phénomène est lié au recouvrement des granulats en surface par le film du liant bitumineux qui, en masquant la microtexture du granulat, péjore l'adhérence dans la zone de contact entre le pneumatique et la chaussée. L'adhérence s'améliore progressivement avec l'élimination du film du liant bitumineux sur une période qui, en fonction du trafic, peut s'étendre sur quelques mois.

Pour remédier à ce délai incompatible avec les durées habituelles entre la fin des travaux et leur réception, le présent projet évalue la possibilité de se servir des mesures de macrotexture comme mesure de réception pour la qualité antidérapante des nouvelles couches de surface.

L'analyse des valeurs de texture (Profondeur moyenne de profil) et d'adhérence (coefficient de frottement) mesurées sur les routes nationales suisses ne permet pas de mettre en évidence une corrélation entre ces deux caractéristiques. Cette analyse montre que des revêtements avec peu de texture peuvent présenter de bonnes valeurs d'adhérence, et que des revêtements avec une adhérence faible se caractérisent parfois par des valeurs de texture élevées.

En éliminant le film d'eau, d'une épaisseur de 1 à 5 mm, entre le pneu et la surface de la chaussée, la macrotexture joue un rôle essentiel pour lutter contre le risque d'aquaplanage. Il est donc nécessaire d'imposer des valeurs limites pour le niveau de macrotexture. Par contre, la macrotexture doit être associée à une microtexture suffisante, afin de rompre l'épaisseur de film d'eau résiduel et mobiliser un contact direct entre le pneu et la surface du granulat. Une bonne microtexture du revêtement est garantie par la sélection de granulats avec une résistance au polissage conformes à la norme SN 670 103b.

L'utilisation de la seule mesure de la macrotexture pour la réception d'une nouvelle couche de roulement ne garantit pas l'obtention d'une bonne qualité antidérapante. Il est toutefois primordial de garantir une macrotexture des couches de roulement suffisante afin de se prémunir du risque d'aquaplanage. Cet objectif peut être atteint par le choix en amont de types de revêtements adaptés à la typologie de la route, et plus particulièrement la vitesse de circulation et la pente. Des recommandations dans ce sens sont données dans le rapport.

Zusammenfassung

Die Griffigkeit eines Strassenbelags ist die Folge einer komplexen Kombination von physikalischen Phänomenen, die auf der Skala der Mikro- und der Makrotexture der Fahrbahnoberfläche wirken.

Die Abnahme der Griffigkeit von neuen Deckschichten hat mit der Problematik des niedrigen Reibungswiderstands von jungen Fahrbahnoberflächen zu tun. Dieses Phänomen hängt mit der Umhüllung der oberflächlichen Splitte mit dem bituminösen Bindemittelfilm zusammen. Dieser Bindemittelfilm verbirgt die Mikrotexture der Aggregate und wirkt abwertend auf die Griffigkeit der Bindungszone zwischen Fahrbahnoberflächen und Reifen. Die Griffigkeit verbessert sich zunehmend mit der Abtragung dieses Bindemittelfilms auf einer Zeitspanne, die gemäss Verkehr, sich auf mehrere Monate verstrecken.

Um Zeitraum zu verringern, der inkompatibel mit den üblichen Dauern zwischen Bauende und Abnahme ist, bewertet dieses Projekt die Möglichkeit die Messwerte der Makrotexturen als Abnahmewert der Griffigkeit von neuen Fahrbahnoberflächen zu nützen.

Die Analysen der Texturwerte (Mittlere Profiltiefe) und Griffigkeit (Reibungskoeffizient) auf Schweizer Nationalstrassen gemessen, erlaubt es nicht eine Korrelation zwischen den beiden Merkmalen hervorzubringen. Diese Analyse zeigt, dass die Deckschichten mit geringer Textur, gute Griffigkeitswerte anzeigen, und, dass die Deckschichten die niedrigen Griffigkeitswerte haben, durch hohe Texturwerte gekennzeichnet sind.

Durch das Beseitigen des 1 bis 5 mm dicken Wasserfilms zwischen Fahrbahnoberflächen und Reifen, spielt die Makrotexture eine wichtige Rolle um Aquaplaning Risiko zu verringern. Es ist also nötig Grenzwerte für die Makrotexture zu setzen. Dennoch muss die Makrotexture mit einer ausreichenden Mikrotexture zugeordnet werden sodass die Höhe des restlichen Wasserfilms gebrochen wird und ein direkter Kontakt zwischen Reifen und Oberflächenaggregate hergestellt werden kann. Eine gute Mikrotexture der Deckschicht ist garantiert durch die Auswahl von Aggregate, die einen angemessenen Widerstand gegen Polieren gemäss SN 670 103b haben.

Die Verwendung allein der Makrotexture, garantiert nicht eine gute Griffigkeit für die Abnahme einer neuen Deckschicht. Es ist jedoch wichtig eine genügende Makrotexture der Deckschicht zu garantieren, sodass das Risiko von Aquaplaning verringert wird. Dieses Ziel kann durch die Wahl im Voraus von Belagstyp, die an die Strassentypologie (insbesondere die Geschwindigkeit und die Steigung) geeignet ist, erreicht werden. Empfehlungen dafür sind in diesem Bericht gegeben.

Summary

This skid resistance of pavement is the result of the complex combination of physical phenomena acting at the micro and macro texture scales of the pavement surface.

The acceptance procedure of new road surfaces regarding their skid resistance faces the problematic of the low friction coefficient at early age of pavement. This phenomenon is related to the covering of aggregates at the surface with the bituminous binder film which, by hiding the microtexture of the aggregates, induces a low skid resistance in the tire/pavement contact area. Skid resistance improves gradually as the bituminous binder film is eliminated during a time period of some months, depending on the traffic level.

To remediate to this relative long delay compared to usual acceptance tests, the actual project evaluates the feasibility of performing macrotexture measurements as acceptance test for the skid resistance performance of new road surfaces.

The analysis of texture (Mean Profile Depth) and skid resistance values (friction coefficient) collected on the Swiss highways network does not highlight a clear correlation between these two properties. Moreover, some road surfaces with low texture show good value of skid resistance, whereas other road surfaces with low skid resistance exhibit sometimes high textures.

By eliminating the 1 to 5 mm thick water layer between the tire and the road surface, macrotexture plays an essential role for aquaplaning risk mitigation. It is thus necessary to set limit values for macrotexture level. However, macrotexture must be associated with a sufficient microtexture in order to break the residual water film and ensure a direct contact between the tire and the aggregate surface. A good microtexture is achieved in Switzerland by the selection of aggregates with a polishing resistance that meets the SN 670 103b standard requirements.

Using the macrotexture test alone for the acceptance of a new road surface does not guarantee the achievement of a good skid resistance. However, it is essential to guarantee a sufficient macrotexture for road surfaces to mitigate the aquaplaning risk. This can be managed upstream by selecting bituminous materials adapted to the road situation, particularly the traffic speed and the slope. Recommendations in this regard are given in the report.

1 Notions de base

1.1 Phénomène d'adhérence

L'adhérence peut être définie comme la capacité d'une chaussée à mobiliser des forces de frottement entre le pneumatique et la surface du revêtement suite aux sollicitations dues à la conduite, comme lors d'un freinage, d'un changement de direction ou d'une accélération [1].

Ces forces de frottement se décomposent en deux composantes : une force transversale, qui découle du coefficient de frottement transversal, et une force longitudinale, dépendant du coefficient de frottement longitudinal.

Les forces transversales et longitudinales résultent des efforts qui se forment dans la zone de contact entre le pneumatique et les aspérités du revêtement. Dans cette zone de contact, les pressions comportent une composante verticale équilibrant la charge appliquée sur la roue et une composante horizontale s'opposant au mouvement du véhicule. Ce phénomène est nommé hystérésis. Lorsque la zone de contact est dépourvue d'eau, une liaison au niveau moléculaire se produit également entre les aspérités et le pneumatique, phénomène nommé adhésion [3].

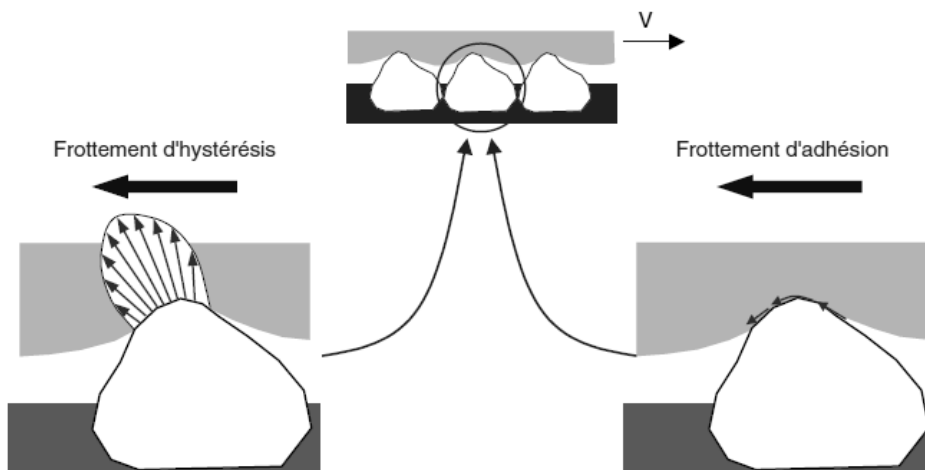


Fig. 1 Composantes des forces de frottement entre le pneumatique et la chaussée [3].

Lorsque la surface routière est salie ou mouillée, l'adhésion ne peut plus se développer. Dès lors, il est admis que le frottement provient uniquement de la déformation de la gomme par les aspérités, c'est-à-dire l'hystérésis. L'évacuation d'eau est assurée par l'action combinée du relief des pneumatiques et de la texture du revêtement de la chaussée.

1.2 Définition de la texture

La texture est définie comme la rugosité qui peut être observée à la surface d'une chaussée [4]. Elle a une influence sur plusieurs propriétés du revêtement comme la réflexion des rayons lumineux, la cinématique du véhicule, les interactions chaussée-liquides-pneu, la consommation de carburant ou encore l'usure des pneus [5]. La texture représente un enjeu notamment dans le domaine de la sécurité routière ou des nuisances sonores.

Deux échelles de texture sont définies dans la norme SN 640 511a [6] :

- La macrotexture : Dimension verticale entre 0.1 mm et 20 mm, et horizontale entre 0.5 mm et 50 mm.
- La microtexture : Dimension verticale entre 0.001 mm et 0.5 mm, et horizontale inférieure à 0.5 mm.

D'autres termes souvent employés pour décrire la texture d'un revêtement sont illustrés ci-dessous, lorsque les dimensions d'analyse sont de tailles plus importantes (megatexture, uni ou planéité).

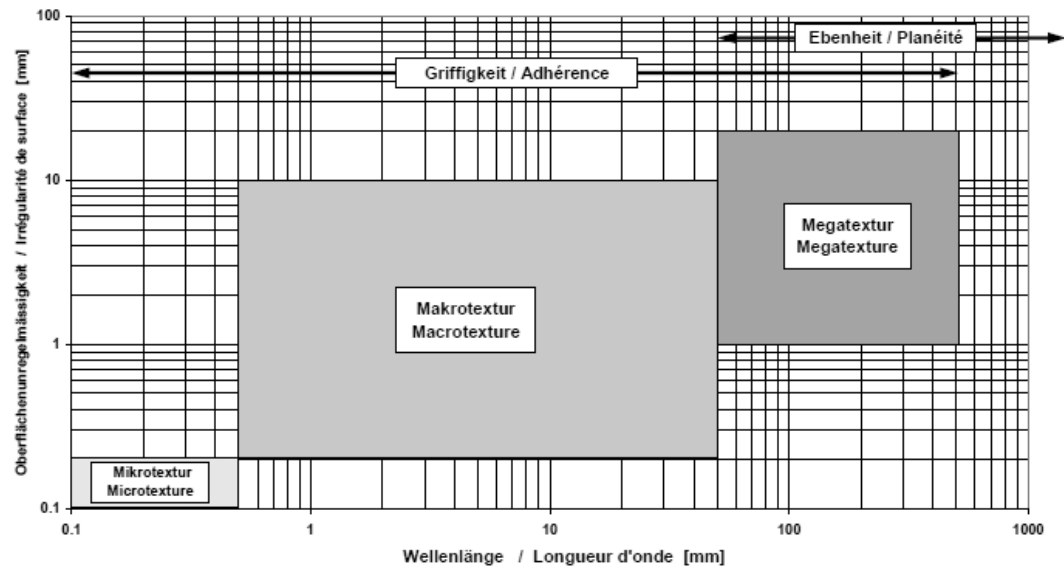


Fig. 2 Subdivision des zones de texture d'après leur longueur d'onde (basée sur la norme SN 640 510c) [7].

Depuis les années 60, le rôle de la macrotexture et des granulats qui la composent sur l'adhérence et la réduction du risque d'aquaplanage a été clairement identifié. Il a fallu attendre les années 90 pour que l'apport de la microtexture à l'adhérence soit étudié plus en détail [3].

La macrotexture est nécessaire au même titre que le relief des pneus pour l'évacuation de l'eau sur une surface mouillée. Cet effet a été étudié dans le cadre du projet VERT (Vehicle Road Tyre Interaction) [9], où a été établi un modèle permettant de déterminer la hauteur d'eau se formant sur un revêtement suivant sa macrorugosité. Cette hauteur d'eau influence fortement la sécurité des véhicules, l'étude ayant montré que la distance de freinage pouvait être multipliée par 7 suivant la hauteur d'eau, la qualité du profil des pneumatiques et la macrorugosité.

Toutefois, le film d'eau qui persiste à la surface du revêtement ne peut être rompu que par les arêtes des granulats, au niveau de la microtexture. Cette dernière assure donc un contact « sec » entre le pneu et le revêtement.

Les termes de textures « positives » et « négatives » sont aussi parfois rencontrés dans la littérature [10]. Une texture négative fait référence à un enrobé poreux, tandis que la texture positive présente des irrégularités en relief (pointes). La figure ci-après illustre ces deux typologies et montre comment se répartissent les billes de verre dans l'essai de la tache de sable.

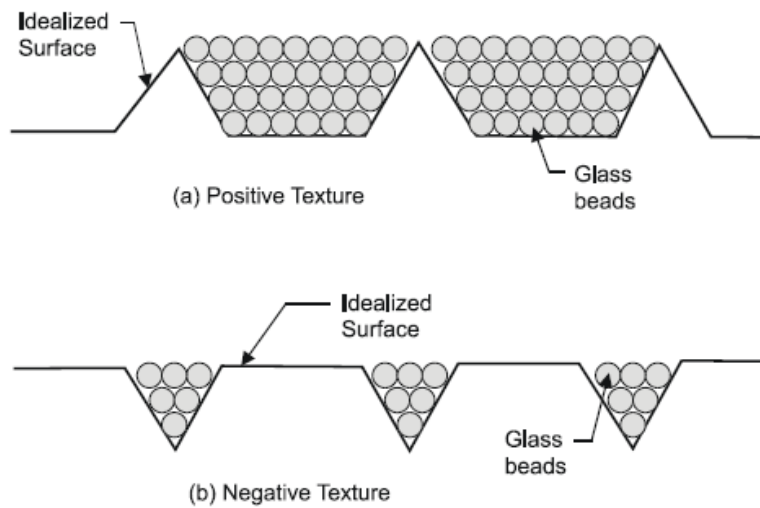


Fig. 3 Représentation idéalisée des types de texture positive (a) et négative (b) et de la répartition des billes de verre de l'essai de la tache de sable [11].

2 Variation de l'adhérence

Les principaux phénomènes qui conduisent à une évolution de l'adhérence dans le temps ou en fonction des différentes conditions de la surface sont identifiés dans [2], [4] et [9], et sont décrits ci-dessous.

2.1.1 Effet du film d'eau

L'adhérence du véhicule sur la surface de la chaussée dépend principalement des surfaces de contact direct des pneumatiques du véhicule avec la chaussée. L'eau qui recouvre à différents degrés le revêtement doit pouvoir être évacuée de la zone de contact pneu/chaussée pour que puisse se développer une adhérence satisfaisante.

La zone de contact pneu/chaussée peut être décomposée en 3 zones (Fig. 4) proposées, selon [2], par Moore, puis par Horne et Buhlmann :

- S_1 : La zone d'évacuation sous pression de la lame d'eau (squeeze film zone), où la macrotexture du revêtement et les sculptures du pneumatique jouent un rôle primordial.
- S_2 : La zone d'enveloppement des aspérités principales (draping zone) par la rupture du film d'eau résiduel. Dans cette zone, la microtexture joue un rôle déterminant.
- S_3 : La zone de développement des forces de frottement (traction zone).

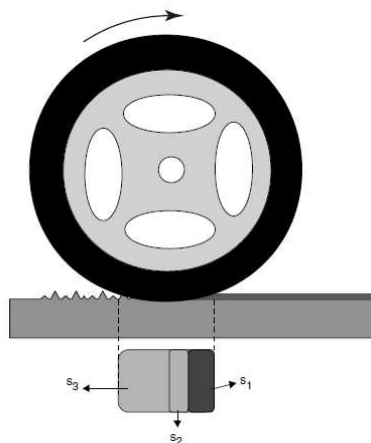


Fig. 4 Représentation des trois zones dans le contact pneu/chaussée en présence d'eau [2].

Horne et Buhlmann proposent la formule suivante pour calculer le coefficient de frottement en condition mouillée :

$$\mu_{\text{mouillé}} = \mu_0 \frac{S_3}{S_1 + S_2 + S_3}$$

avec μ_0 : coefficient de frottement à basse vitesse en condition sèche.

La macrotexture de la chaussée et les sculptures du pneu ont ainsi une influence déterminante sur la taille de la zone d'évacuation de l'eau (S_1) et par conséquent sur la taille de la surface restante (S_2+S_3). Ensuite, c'est la qualité de la microtexture qui détermine la dimension de la zone de rupture du film d'eau (S_2), et par conséquent, l'étendue de la zone de contact sec (S_3) responsable de l'essentiel de la qualité antidérapante. Ceci montre bien la complexité de l'action combinée de la macrotexture et de la microtexture dans le développement du phénomène d'adhérence sur chaussée mouillée.

L'effet de la hauteur du film d'eau et de la profondeur des sculptures du pneu sur le coefficient de frottement mesuré sur un BBSG (équivalent de l'enrobé suisse AC) est illustré sur la Fig. 5. L'importance de l'évacuation de la lame d'eau pour le développement de l'adhérence est clairement montrée ici, particulièrement dans le domaine des vitesses élevées.

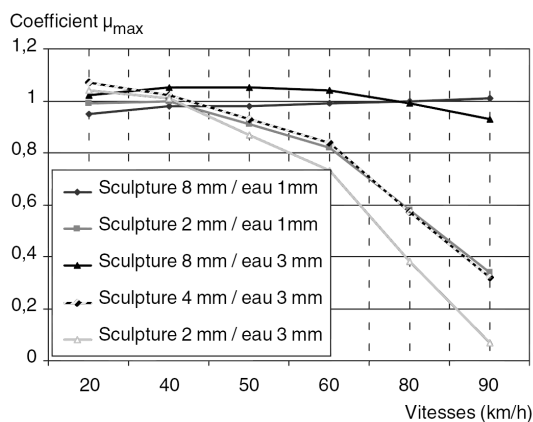


Fig. 5 Coefficient de frottement maximal en fonction de la hauteur d'eau, de la profondeur des sculptures et de la vitesse [2] (couleurs des courbes modifiées).

2.1.2 Effet de l'usure mécanique des granulats

Sous l'effet du trafic, les arrêtes des granulats subissent un polissage, ce qui conduit à une diminution de la microtexture, et donc de l'adhérence. Pour les revêtements où la macrotexture n'évolue pas significativement en fonction du trafic, la qualité de l'adhérence est soit stable, soit en diminution (Fig. 6).

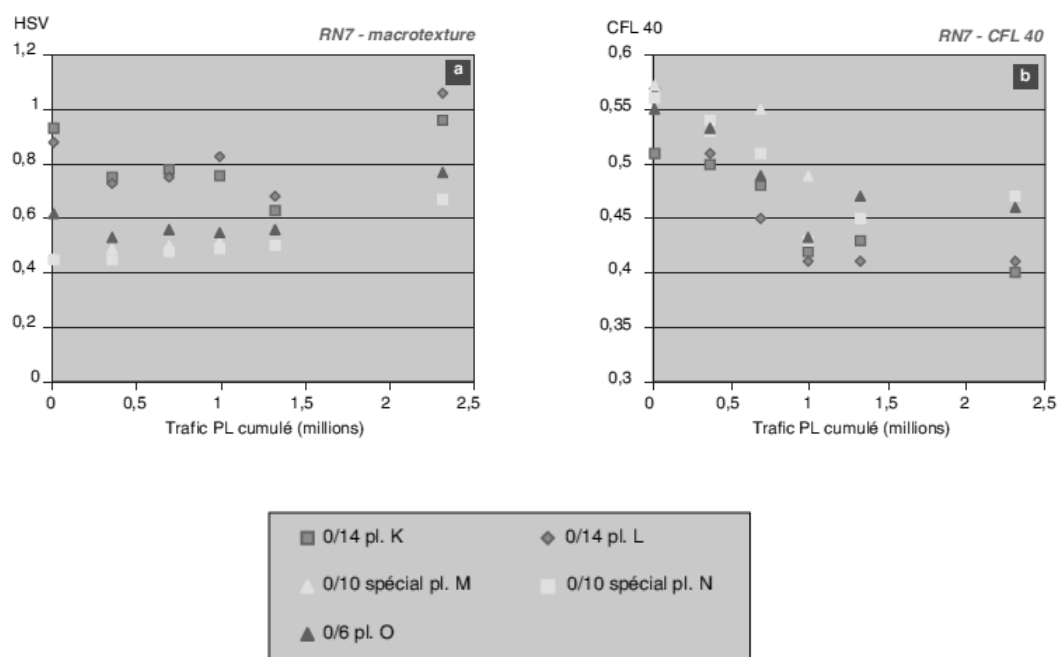


Fig. 6 Influence du trafic sur le coefficient de frottement (graphique 'b') pour un revêtement avec une macrotexture stable (graphique 'a') selon [19].

2.1.3 Effet du film de liant en surface

Après leur pose, les granulats sont recouverts d'un film de liant bitumineux, qui empêche dans un premier temps la participation de la microtexture à l'adhérence. Ce film est progressivement usé par le trafic jusqu'à disparaître pour laisser les granulats apparaître en surface. Dès lors, ces derniers sont mobilisés à l'adhérence. L'influence du film de liant sur l'adhérence est clairement visible dans la figure ci-dessous tirée de [12], le coefficient de frottement n'atteignant sa valeur maximale qu'après un certain temps.

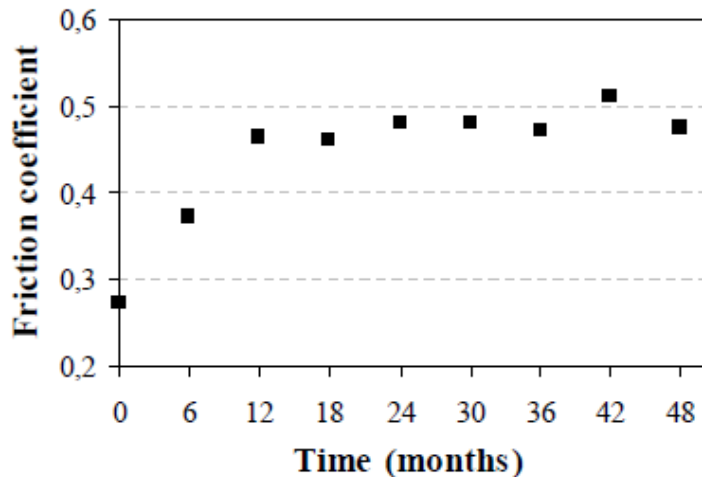


Fig. 7 Evolution du coefficient de frottement par vieillissement naturel [12].

Les résultats de l'essai de polissage (Werner Schulze) mettent en évidence l'influence du film de liant dans l'évolution de la valeur du coefficient de frottement mesuré μ_{WS} (Fig. 8 ci-dessous).

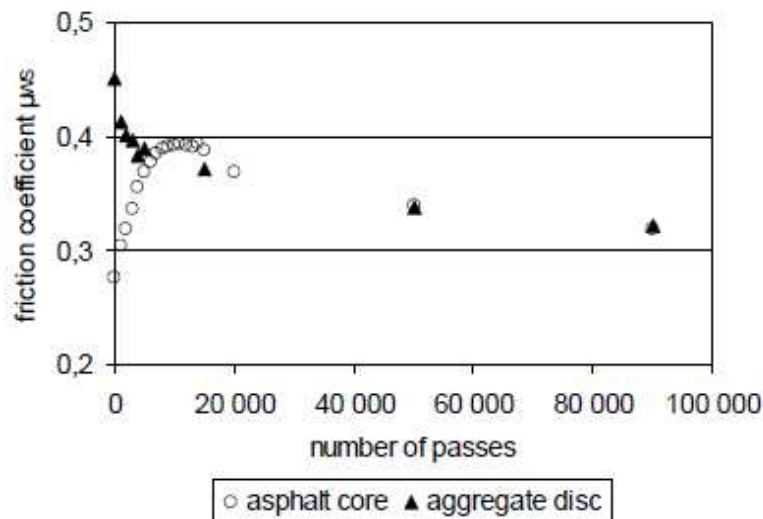


Fig. 8 Evolution du coefficient de frottement μ_{WS} par l'essai Wehner/Schulze pour une carotte d'enrobé (asphalt core) et des granulats seuls (aggregate disc) [12].

En effet, la valeur du coefficient des granulats seuls diminue immédiatement sous l'effet du trafic, alors que la valeur pour la carotte d'enrobé augmente dans un premier temps, une fois que le film de liant est rompu, puis diminue une fois que les granulats sont exposés de la même manière que les granulats seuls.

Woodward and al. ont approfondi la question de l'adhérence dans les premières années de service des revêtements dans plusieurs études [10] [15]. Pour cela, ils ont étudié l'influence du film de liant recouvrant les granulats, en peignant des granulats avec du bitume et en les décapant avec de l'eau sous-pression, tout en mesurant leur coefficient

de frottement à différentes étapes du décapage. Ils ont également étudié l'influence de la microtexture au niveau du granulat.

La figure ci-dessous permet de constater que les granulats avec un faible PSV (comme les calcaires : limestone) perdent un taux de liant plus important sous l'effet du polissage en raison d'une liaison granulat-liant de moins bonne qualité. Les granulats sont donc plus rapidement exposés, ce qui peut expliquer pourquoi des enrobés avec des granulats à bas PSV peuvent présenter une adhérence plus élevée dans leur jeune-âge que ceux avec des granulats de meilleure qualité.

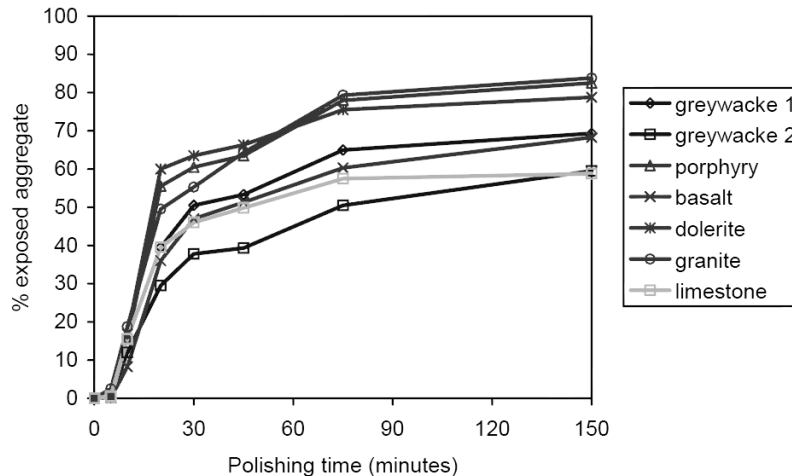


Fig. 9 Taux d'exposition du granulat durant l'essai de polissage suivant le type de roche, pour un enrobé avec un liant de 200 pen. [10].

Woodward and al. ont également testé l'influence des bitumes modifiés (fibres, polymères), qui sont souvent utilisés pour obtenir des enrobés à texture négative dont la porosité est recherchée notamment pour leur propriété phonique. Dans l'étude qu'ils ont menée, il s'avère que pour l'enrobé avec liant modifié avec des polymères (100 pen., PMB), après 11 heures de polissage, le film n'avait pas encore été éliminé et l'adhérence maximale n'était pas encore atteinte, contrairement à l'enrobé avec liant traditionnel (200 pen.). Ce résultat est illustré ci-dessous.

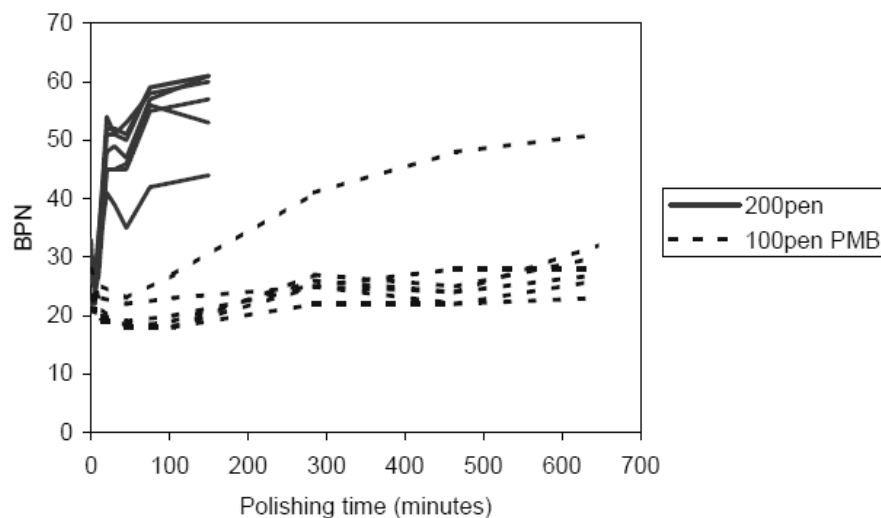


Fig. 10 Evolution de l'adhérence au cours du plissage, pour un liant traditionnel (200 pen.) et un liant modifié avec des polymères (100 pen., PMB) [10].

L'étude conclut donc que dans le jeune âge, le type de liant a une plus forte influence sur l'adhérence que la qualité des granulats (PSV). La qualité de ces derniers ne rentre en compte que lorsque le film de liant est rompu, moment où la microtexture peut être sollicitée et participer à l'adhérence.

2.1.4 Variation saisonnière

De telles variations peuvent être observées en réalisant une série de mesures d'adhérence sur une même surface à différents moments de l'année. Comme illustré dans la figure ci-dessous, la valeur du coefficient de frottement oscille de manière sinusoïdale. La valeur basse obtenue en été provient, selon la théorie la plus répandue, de la quantité plus importante de poussière accumulée dans la texture en raison des faibles précipitations. En hiver, le revêtement est lessivé par les précipitations plus importantes. Ces phénomènes saisonniers peuvent engendrer une variation de 30% de la valeur du coefficient de frottement transversal [1].

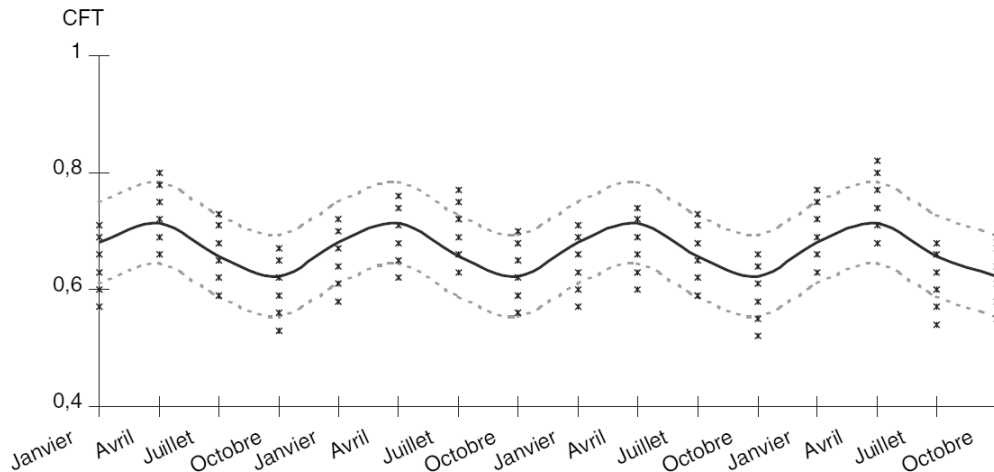


Fig. 11 Variation saisonnière du coefficient de frottement transversal [1].

L'effet de la variation saisonnière a également été simulé en laboratoire en appliquant un mélange d'eau et de particules fines sur une éprouvette d'enrobé. Avec une très faible quantité d'eau dans le mélange, le coefficient de frottement chute. Ce phénomène, aussi appelé « summer ice » [13], se produit sur les routes lors de la première pluie après une longue période sèche.

2.1.5 Vieillissement

En subissant les effets répétés du climat comme les changements de températures, l'oxydation ou les pluies acides, le matériau du revêtement vieillit et voit son adhérence s'améliorer ou se dégrader.

2.1.6 Loi d'évolution de l'adhérence

Des tests de vieillissement accéléré ont été réalisés en laboratoire pour reproduire certains phénomènes affectant l'adhérence, comme l'effet du trafic (polissage avec appareil Werner Schulze) et les conditions climatiques (appareil SUNTEST XXL). Le but de cette démarche est de formuler des courbes de prédiction de la résistance au polissage.

A cet effet, différents modèles de l'évolution de l'adhérence dans le temps sont rappelés dans [12] (Diringer et al, Roe et al, Huschek), et un modèle d'évolution du coefficient de frottement tenant compte du vieillissement de l'enrobé et du film de liant a pu être établi, avec une correspondance avec des données mesurées jugée toute relative.

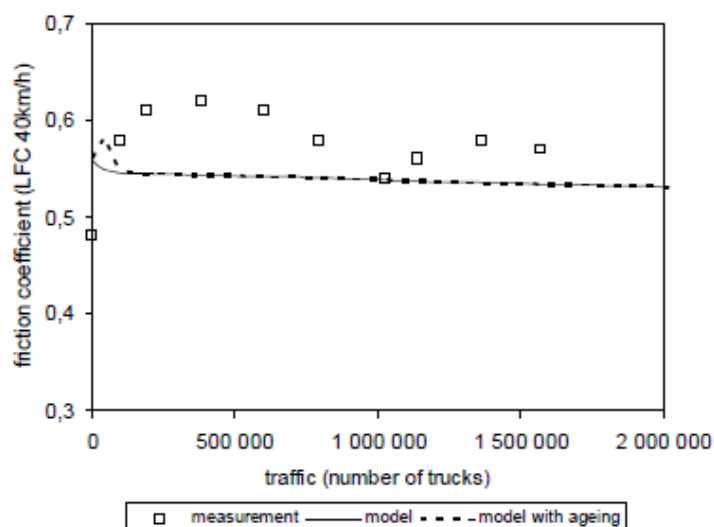


Fig. 12 Comparaison entre le modèle et les mesure de l'évolution de l'adhérence sous l'effet du trafic [12].

Une autre étude [14] propose des lois d'évolution du coefficient de frottement en fonction du trafic poids lourd (essieu standard équivalent) ou en fonction de l'âge. Ces lois prennent en compte le type de revêtement, et sont illustrées dans le tableau ci-dessous. Les auteurs expliquent les faibles coefficients de régression R^2 par la faible quantité de données disponibles pour les types de revêtement en question.

Tab. 1 Lois d'évolution du coefficient de frottement en fonction de l'âge pour différents types de revêtement [14]

Pavement surface	SFC	Regression coefficient (R^2)
Thin asphalt concrete	$-7.03 \cdot \text{LN}(\text{age}) + 90.26$	0.50
Very thin asphalt concrete	$-2.59 \cdot \text{LN}(\text{age}) + 76.94$	0.43
Semi-coarse asphalt concrete	$-4.48 \cdot \text{LN}(\text{age}) + 78.36$	0.24
Asphalt concrete with high modulus	$-1.28 \cdot \text{LN}(\text{age}) + 58.66$	0.13
Porous asphalt concrete	$-1.61 \cdot \text{LN}(\text{age}) + 68.78$	0.09

L'étude poursuit avec une analyse de l'accidentologie, mettant en avant le lien entre une faible adhérence et un taux d'accidents élevé, mais aussi l'influence du rayon de courbure des virages.

3 Mesures de la texture et de l'adhérence

La macrotexture peut être mesurée de manière directe, par volumétrie ou par profilométrie, ou de manière indirecte par le coefficient de frottement. La profilométrie ou la mesure du coefficient de frottement peuvent être exécutées avec des appareils de mesure à grand rendement.

La microtexture ne peut par contre être mesurée que de manière indirecte, en mesurant le coefficient de frottement ou en testant les granulats séparément par des essais de polissage. Toutefois, en raison du film de liant, les mesures du coefficient de frottement ne peuvent pas être effectuées à la réception de la chaussée neuve. De plus, ces mesures s'effectuent à faible vitesse ou de manière ponctuelle, ce qui ne permet pas un relevé à grand rendement.

3.1 Mesure directe de la macrotexture

Il existe deux types de mesures directes de la macrotexture ; par volumétrie et par profilométrie.

Volumétrie

L'essai standard de mesure par volumétrie est l'essai de la tache de sable (norme EN 13036-1 [16]). Un volume déterminé de sable (billes de verres standardisées) est étalé en cercle sur le revêtement ce qui permet de déterminer l'indice de « profondeur moyenne de texture : PMT » ou « Mean Texture Depth : MTD ».

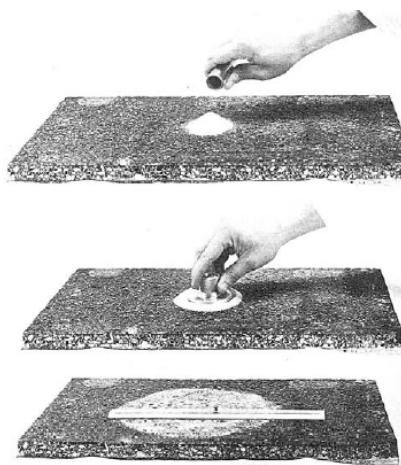


Fig. 13 Illustration de l'essai de la tache de sable [1].

Profilométrie

La méthode profilométrique mesure la profondeur de profil à l'aide d'un rayon laser et d'un potentiomètre optique pour en déduire l'indice de « profondeur moyenne de profil : PMP » ou « Mean Profile Depth : MPD » (norme SN 640511-11 [17]). Cette mesure standardisée peut être réalisée par tout véhicule de relevé respectant les conditions météorologiques définies dans la norme ISO 13473-1:1997, ce qui en fait une mesure à grand rendement.

La plupart des véhicules multifonctions de relevé d'état sont équipés pour mesurer la valeur PMP. Des véhicules de tourisme peuvent également être équipés d'un module adéquat et permettent de mesurer uniquement la valeur PMP de manière économique (Appareil Rugolaser® et le profilomètre laser de Greenwood).

Le Protex, fabriqué en Angleterre, est une autre version de cet appareillage, où l'appareil est poussé manuellement à une vitesse de 5 km/h. Il est essentiellement utilisé pour des mesures ponctuelles.

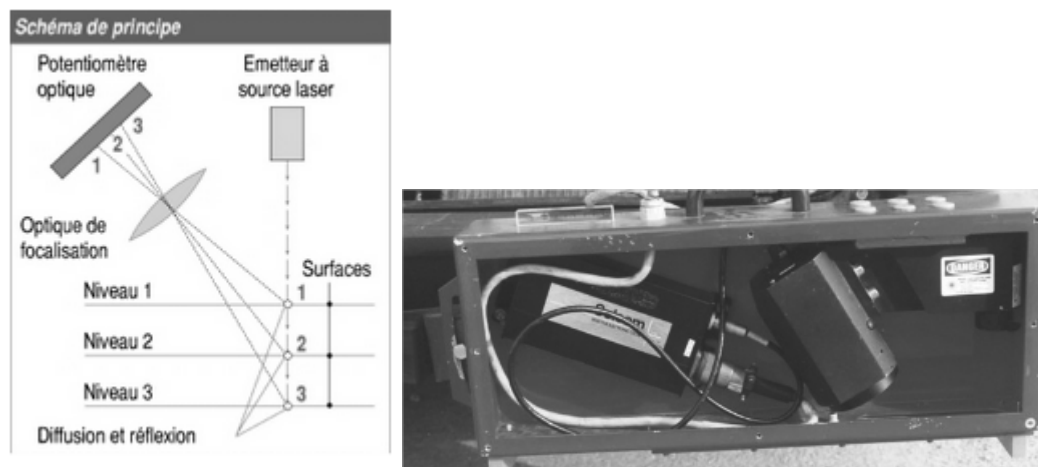


Fig. 14 Schéma de principe du fonctionnement et illustration de l'appareillage RUGO (matériel MLPC© développé par le LCPC) [18].

Profondeur de texture équivalente

Il existe une bonne corrélation entre les mesure profilométriques et volumétriques. Selon [1], la norme propose d'utiliser l'indice de « Profondeur de texture équivalente : PTE » ou « Equivalent Texture Depth : ETD », qui correspond historiquement à la « Hauteur de sable corrigée : HSc », en utilisant la correction : $ETD = 0.8 \times MPD + 0.2$ ou de considérer que $ETD = MPD$.

Le diagramme de la Fig. 15 illustre de manière synthétique les relations entre les différentes grandeurs discutées ci-dessus.

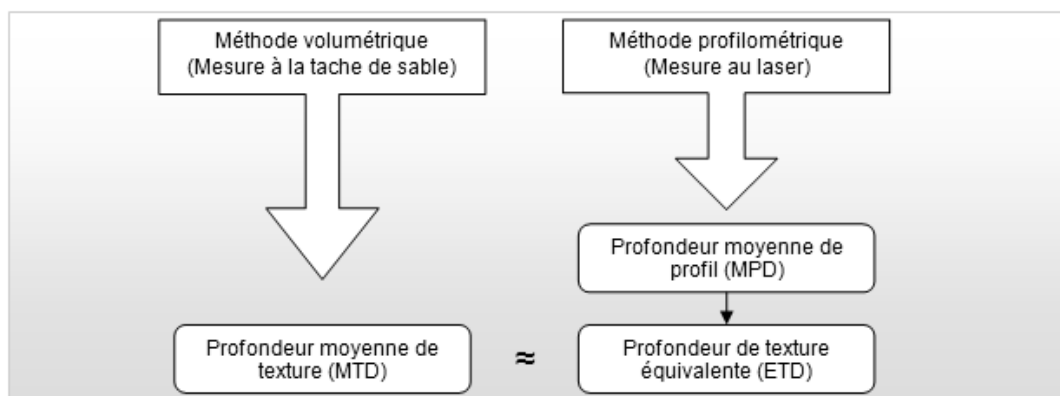


Fig. 15 Schéma synthétique des différentes grandeurs caractérisant la texture d'une surface de chaussée.

3.2 Mesure directe de la microtexture

Actuellement, il n'existe aucun moyen de mesurer la microtexture de manière directe avec un appareil à grand rendement. La microtexture est évaluée de manière indirecte par une mesure du coefficient de frottement. Comme ces mesures sont effectuées soit de manière statique (pendule SRT), soit à faible vitesse (p.ex. Grip Tester), elles sont essentiellement utilisées de manière ponctuelle. Elles ne sont pas appropriées pour une analyse complète d'un réseau.

Des développements existent dans le domaine de la prise d'image de chaussées (par photographie ou au microscope) ainsi que dans le relevé de profil (au laser). Le rapport [3] met notamment en avant un projet du LCPC et du SIC (Laboratoire « Signal Image Communication » de l'université de Poitiers) dans le domaine de la « stéréovision photométrique ». Ce système transportable permet de prendre des images de 90mm x 60mm et de les transformer en cartographie de hauteur.

De telles méthodes de mesures sont complexes et selon [3], elles ne montrent pas encore de résultats suffisamment satisfaisants pour envisager leur utilisation pour une mesure à grand rendement de la microtexture.

3.3 Mesure du coefficient de frottement

Le Pendule SRT (Skid Resistance Tester)

Ce pendule conçu en Angleterre par le TRL porte un patin de caoutchouc qui vient frotter la surface du revêtement. La dissipation d'énergie au contact du revêtement permet de déduire le coefficient de frottement μ_{SRT} . Cet appareil a un taux de glissement de 100%, la mesure est réalisée à une vitesse de 10 km/h, mais de manière ponctuelle. Entre chaque point de mesure, l'appareil doit être déplacé, ne permettant donc pas d'effectuer des mesures en continu comme un appareil à grand rendement.

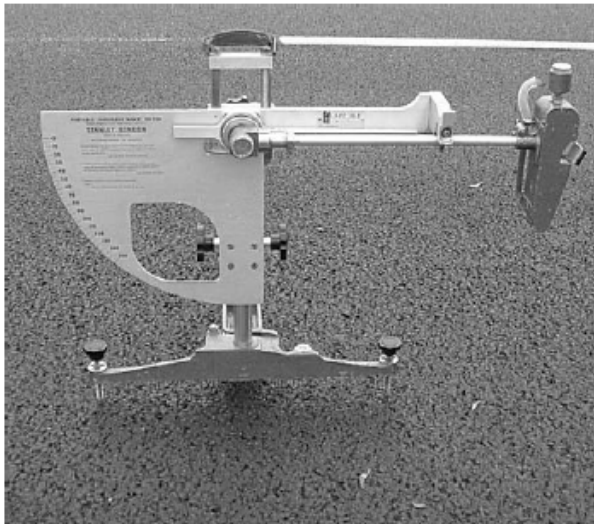


Fig. 16 Illustration du pendule SRT [1].

Les appareils de mesures « à grand rendement »

Ils sont embarqués ou tractés par un véhicule. La vitesse de mesure, la force appliquée, la quantité de mouillage, le pneu utilisé ainsi que la vitesse de mesure (voir [1]) varient suivant le type d'appareil.

Comme l'illustre la Fig. 17, les mesures d'adhérence effectuées avec une faible vitesse de glissement permettent de mesurer l'influence de la microtexture, tandis que les mesures à vitesse plus élevée renseignent sur la macrotexture. Les faibles vitesses qu'impliquent les mesures de microtexture impliquent que les appareils (typiquement le Grip Tester) sont plutôt utilisés pour des analyses localisées et non pour une analyse de réseau, comme c'est normalement le cas avec des appareils à grand rendement.

Suivant le taux de glissement autorisé, différentes valeurs du coefficient de frottement sont mesurées ($\mu_{\max}$, μ_{bloq} ,...). Suivant l'appareil utilisé, ce n'est donc pas la même valeur qui est obtenue. En utilisant une roue de biais, il est possible de mesurer le coefficient de frottement transversal (CFT), alors qu'une mesure avec une roue droite renseigne sur le coefficient de frottement longitudinal (CFL).

En employant la classification utilisée dans le rapport de recherche VSS n°1202 [7], les appareils les plus fréquemment rencontrés en Europe sont les suivants :

- Roue droite bloquée : Skiddomètre, SRM, Adhera.
- Roue droite avec glissement : SRM, Skiddo, Roadstar, Grip Tester, ROAR, TATRA, IMAG, DWW.
- Roue de biais : SCRIM, μ -SISU, Stradograph, Odoliograph.

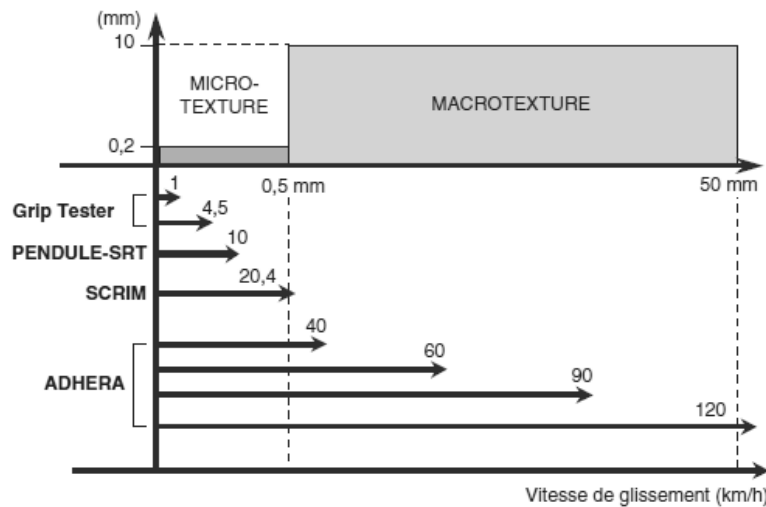


Fig. 17 Vitesse de glissement pour différents appareils de mesure du coefficient de frottement [1].

Vers un unique indice : L'European Friction Index (EFI)

La figure précédente illustre le grand nombre d'appareils mesurant le coefficient de frottement. Dans l'optique d'une harmonisation des méthodes de mesures, le BRRC (Centre de recherche routière belge) propose un unique indice pouvant être calculé avec tous les appareils [1]. L'indice nommé European Friction Index (EFI) associe une mesure de frottement et des données de macrotexture, et se calcule selon [1] de la manière suivante :

$$EFI = A + \left(B \cdot FR_S \cdot e^{\frac{S-30}{S_p}} \right)$$

avec $S_p = 57 + 56 \cdot PMP$ ou $S_p = 43 + 70 \cdot PMT$, A et B sont les coefficients de la régression linéaire, FR_S valeur du coefficient de frottement mesuré rapporté à la vitesse S.

Cependant, l'application de cette procédure de calcul pour différents appareils a conduit à des résultats présentant d'importantes dispersions. Une nouvelle étude, nommée HERMES (Harmonization of european routine and research measuring equipment for skid resistance of roads and runaways) a été conduite sur un nombre important de mesures (neuf campagnes avec quinze appareils pour l'adhérence et neuf pour la macrotexture) dans le but de réduire ces dispersions [1].

Les résultats n'étant pas encore suffisamment satisfaisants, le FEHRL (Forum européen des laboratoires de recherche routière) envisage le lancement d'un projet HERMES 2 pour que les modèles développés permettent une comparaison fiable entre les différents appareils de mesures [1].

3.4 Mesure du polissage

La microtexture est étroitement liée à la faculté des granulats de résister à l'usure mécanique provoquée par le trafic. Un moyen pour assurer une bonne microrugosité est de contrôler la qualité des granulats en leur appliquant une action de polissage. Il s'agit là d'une vérification indirecte, effectuée avant la construction. Certains essais de polissage sont décrits dans [19]. Ils s'effectuent généralement en deux temps, avec tout d'abord un polissage accéléré des granulats puis une mesure de la résistance au frottement de la surface polie. Peuvent être cités notamment :

- l'essai PSV (Polished Stone Value) ou CPA (Coefficient de Polissage Accéléré) décrit dans la norme EN 1097-8 [20], dans lequel le polissage est effectué par une roue de caoutchouc avec projection de l'eau et de l'émeri sur des plaquettes de granulats, puis le frottement est mesuré à l'aide du pendule SRT.
- l'essai de Résistance au polissage accéléré RPA (norme XP P 18-850 [21]), effectué avec la machine GRAP, qui polit les échantillons par projection de farine de silice et d'eau, à la suite duquel le frottement est également mesuré à l'aide du pendule SRT
- l'appareil Wehner et Schulze, où le polissage est effectué par roulement de cône en caoutchouc sur des éprouvettes circulaires, et où la mesure du frottement est réalisée à l'aide d'un dispositif spécifique de patin de caoutchouc, s'affranchissant ainsi du pendule SRT.

Les deux dernières méthodes permettent également le polissage de carotte d'enrobé, ce qui permet d'analyser en laboratoire les matériaux d'une couche de roulement mise en place.

4 Les directives et exigences en matière de texture

La plupart des pays évaluent la qualité de l'adhérence d'une chaussée par une mesure du coefficient de frottement. En Suisse, la norme SN 640 510b [22] retient la mesure du coefficient de frottement avec roue droite (Skiddomètre et SRM) entièrement bloquée, soit un taux de glissement égal à 100%. Des valeurs indicatives du coefficient de frottement à atteindre sont données en fonction de la vitesse. Dans d'autres pays d'Europe, différents seuils sont définis en fonction de la valeur du coefficient de frottement de la chaussée, comme valeur cible, valeur d'alerte, etc.

Seule la France et l'Angleterre utilisent, en plus des mesures de frottement, une mesure de la macrotexture pour évaluer la qualité de l'adhérence des revêtements, selon le rapport de recherche VSS n°1202 [7].

4.1 Cas de la France

La circulaire n°2002-39 [23] (voir aussi le rapport [24] la présentant) ne préconise pas d'effectuer de mesure de coefficient de frottement pour la réception d'une nouvelle chaussée. En revanche, elle définit deux niveaux de spécifications à respecter en matière de macrotexture, en valeur de PMT :

- Le premier niveau de spécification $PMT_{spé}$, définit le niveau moyen à atteindre au minimum sur un lot de contrôle.
- Le deuxième niveau de spécification PMT_{min} , définit le niveau au-dessous duquel il n'est toléré de rencontrer que deux valeurs de PMT consécutives.

La circulaire précise que pour les revêtements drainants, la profondeur de texture n'est pas une mesure significative. Pour les autres revêtements, les valeurs à respecter sont données en fonction de la vitesse et dépendent aussi de la situation de la route. Ces valeurs sont détaillées dans les tableaux ci-dessous :

Tab. 2 Valeurs $PMT_{spé}$ et PMT_{min} pour le milieu urbain et périurbain [23]

Vitesse autorisée (km/h)	Type de chaussées	Configuration de site	$PMT_{spé}$	PMT_{min}
V < 50	Bidirectionnelles	Traversée d'agglomération	≥ 0.40 mm	0.30 mm
50 < V < 90			≥ 0.60 mm	0.40 mm
V > 90	2 x 2 voies	Voie rapide urbaine	≥ 0.60 mm	0.40 mm
	2 x 3 voies et +	Pentes P < 5%	≥ 0.70 mm	0.50 mm

Tab. 3 Valeurs $PMT_{spé}$ et PMT_{min} pour le milieu interurbain [23]

Vitesse autorisée (km/h)	Type de chaussées	Tracés en plan Virages	Profil en long Pentes	PMTspé	PMTmin
V = 90	Bidirectionnelles	Tous les cas	P ≤ 5%	≥ 0.60 mm	0.40 mm
			P > 5%	≥ 0.80 mm	0.60 mm
V = 110	2 x 2 voies		P ≤ 5%	≥ 0.60 mm	0.40 mm
			P > 5%	≥ 0.80 mm	0.60 mm
V = 130	2 x 2 voies	R ≥ 1000 m ou	P ≤ 5%	≥ 0.60 mm	0.40 mm
	2 x 3 voies et +	R ≥ 600 m		≥ 0.70 mm	0.50 mm

Des valeurs minimales recommandées pour les chaussées neuves par sorte d'enrobé sont données dans la norme [25] et appelées ci-dessous :

Tab. 4 Proposition de valeurs limites selon [25]

Produit		Niveau de macrotexture minimal exigé (PMT-NF EN 13036-1) après mise en œuvre
BBA	Voies de circulation aéronautique	0.4 mm pour 90% des points contrôlés
	Pistes aéronautiques 0/10 C, 0/10 D, 0/14 C et 0/14 D	0.6 mm pour 90% des points contrôlés
BBM	A 0/10, A 0/14, B 0/14	0.7 mm pour 90% des points contrôlés
	B 0/10, C 0/10	0.5 mm pour 90% des points contrôlés
BBSG et BBME	0/10	0.4 mm pour 90% des points contrôlés
	0/14	0.5 mm pour 90% des points contrôlés
BBDr		Mesures non significative. La mesure de la drainabilité <i>in situ</i> est à faire selon l'annexe C
BBTM	0/6	0.7 mm pour 90% des points contrôlés
	0/10	0.9 mm pour 90% des points contrôlés

La norme [8] accompagne et complète les normes européennes en vigueur en France. Elle contient plus particulièrement les exigences propres à ce pays et qui ne sont pas définies par les normes européennes. Nous rappelons ci-dessous les équivalences entre les matériaux français et suisses :

- BBSG = AC
- BBM et BBTM = AC MR
- BBDR = PA
- BBA = AC pour chaussées aéronautiques

Quant à la microtexture, qui ne peut pas être vérifiée *in situ*, la circulaire recommande de la considérer lors du choix du type de couche de roulement, en portant une attention particulière à la performance des granulats. Il ne peut donc s'agir que d'une vérification effectuée *à priori*, avant la construction. Le Comité français pour les techniques routières (CFTR) a rédigé à cet effet une note d'information [26] qui complète la circulaire, où figure en particulier un tableau évaluant l'adéquation entre l'adhérence offerte par différents types d'enrobé et la demande d'adhérence pour différents sites et conditions de circulations.

4.2 Cas du Royaume-Uni

Le Royaume-Uni applique une politique volontariste en matière de propriétés de surface des revêtements et de leur adhérence. Depuis 2004, des exigences sur l'adhérence et la macrotexture ont été définies, afin de coordonner l'offre et la demande de résistance au dérapage (skid resistance). Les valeurs minimales sont représentées dans le tableau ci-après. En cas de non-conformité, la route doit immédiatement subir une évaluation technique d'un ingénieur [7].

Tab. 5 Valeurs minimales obligatoires [27]

Situation	Adhérence CFT %	Profondeur moyenne de texture PMT	
		Réception	Après 2 ans
Autoroute	35	1.0 mm	0.7 mm
Section de route avec sens de circulation séparé	40	1.0 mm	0.7 mm
Zone de croisement avec trafic directionnel séparé	40	1.0 mm	0.7 mm
Zone de croisement sans trafic directionnel séparé	45	1.0 mm	0.7 mm
Branche d'une intersection avec une route principale	45	1.2 mm	0.8 mm
Pente 5 à 10 % de plus de 50 m	45	1.2 mm	0.8 mm
Pente > 10% de plus de 50 m	50	1.2 mm	0.8 mm
Courbe de rayon < 250 m et vitesse max > 60 km/h	45	1.2 mm	0.8 mm
Branche d'une intersection dans un giratoire	55	1.5 mm	1.0 mm
Avant un passage piéton	55	1.5 mm	1.0 mm

La macrotexture du revêtement a donc une condition de contrôle directe dès la réception, tandis que la microtexture est vérifiée de manière indirecte par un essai d'adhérence, pour autant qu'il soit exécuté à faible vitesse. Ce dernier ne devrait toutefois pas être réalisé à la réception de la construction, en raison de la présence du film de liant encore intact.

5 Situation en Suisse

5.1 Cadre normatif en Suisse

La problématique de l'adhérence et de la texture en Suisse se base actuellement sur le cadre normatif suivant :

La microtexture est vérifiée, a priori, par le choix de granulats conformes pour un usage en couche de roulement selon la norme SN 670 103b. Cette vérification concerne particulièrement la résistance au polissage qui doit respecter la classe PSV₄₄ pour les AC type L et N, et la classe PSV₅₀ pour le reste des matériaux pour couche de roulement. La valeur minimale de résistance au polissage est actuellement **la seule exigence normative** sur l'adhérence dans le système des normes suisses.

La qualité antidérapante des chaussées existantes peut être évaluée par un essai combiné pendule SRT/drainomètre dont les résultats sont comparés à des valeurs indicatives données dans la norme SN 640 511b.

Dans le cas où la valeur SRT ou le temps d'écoulement au drainomètre ne satisfont pas les valeurs indicatives, la norme SN 640 511b préconise de réaliser une mesure de l'adhérence avec le Skiddomètre. Elle propose également des valeurs indicatives à respecter pour cet essai en fonction de la vitesse de la mesure.

Les valeurs indicatives de la norme SN 640 511b sont souvent déclarées, en Suisse, comme des exigences dans les conditions particulières du contrat d'entreprise.

Il n'existe pas, en Suisse, d'exigences relatives à la texture minimale souhaitée pour des couches de roulement. Cette situation fait que ce type de mesure n'est réalisé que ponctuellement, essentiellement avec l'essai de la tache de sable.

5.2 Texture et adhérence

La campagne de relevé d'état sur les routes nationales ZEB NS 2009 est l'unique campagne de relevé effectuée en Suisse qui a permis de récolter systématiquement des données de texture et d'adhérence pour différents revêtements de surface. Le présent rapport se propose d'exploiter ces résultats afin de situer les matériaux suisses vis-à-vis de la texture par rapport à ce qu'il est recommandé à l'étranger.

Les résultats se limitent aux routes nationales. Néanmoins, cela correspond à des sections où la macrotexture est une caractéristique importante vis-à-vis de l'adhérence du fait de l'importance du phénomène d'aquaplanage aux vitesses de circulation élevées.

Les résultats de la campagne ZEB NS 2009 sont exploités au moyen de l'interrogation de la base de données routière de l'Office fédéral des routes MISTRA Trassee, et particulièrement les indicateurs suivants :

- Profondeur moyenne de profil PMP/MPD, caractérisant la macrotexture.
- Le coefficient de frottement μ , mesuré en continu à l'aide du véhicule SKM équivalent allemand du SCRIM.

L'exploitation de la base de données MISTRA Trassee a permis de réaliser les analyses suivantes :

1. Répartition statistique des valeurs de texture et d'adhérence mesurées sur les routes nationales.
2. Comparaison de la texture et l'adhérence pour des revêtements récents, après élimination du film de liant. Pour cela, l'année de pose est comprise entre 2007 et 2009 afin de garantir l'élimination du film de liant tout en limitant le polissage du granulat sous l'action du trafic.
3. Analyse de l'adhérence des revêtements avec une texture faible.
4. Analyse de la texture des revêtements avec une adhérence faible.

5.3 Répartition statistique des valeurs de texture et d'adhérence

Des statistiques globales au niveau du réseau des routes nationales suisses sont présentées, issues des données de la campagne ZEB NS 2009.

Les valeurs seuils (Schwellenwert), d'alarme (Warnwert) et cibles (Zielwert) pour le SKM sont tirées de la norme allemande ZTV Asphalt StB 07 et peuvent être consultées dans [7].

5.3.1 Adhérence

Au niveau de l'adhérence, la répartition des valeurs du coefficient de frottement μ est présentée à la Fig. 18.

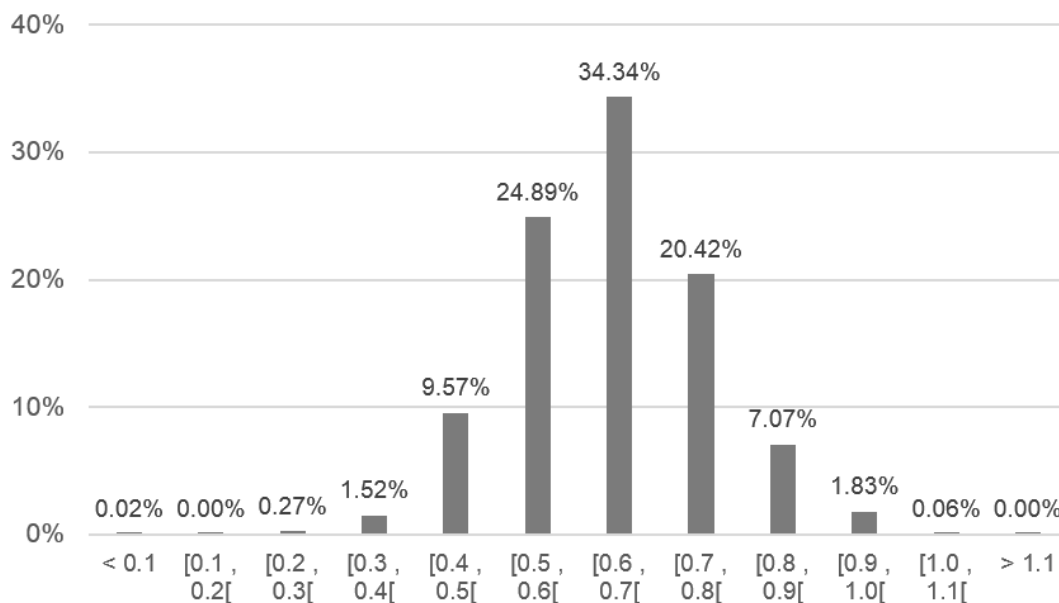


Fig. 18 Répartition des valeurs du coefficient de frottement μ pour la campagne de relevé ZEB NS 09 sur le réseau des routes nationales.

La proportion de surfaces avec une valeur de μ inférieure à 0.32 (valeur seuil de la norme allemande nécessitant une mesure d'assainissement du revêtement) est inférieure à 0.3%, ce qui correspond à une valeur très faible. Les segments identifiés sont très localisés et peuvent être liés à des conditions de mesure particulières (vitesse du véhicule, configuration du tracé) dont l'investigation ne fait pas l'objet de ce mandat.

Une très faible quantité des surfaces relevées présente une valeur de μ inférieure à 0.4. Cette valeur correspond à celle retenue par les normes allemandes ($\mu = 0.39$) comme valeur d'alerte pour une mesure à 80 km/h avec l'appareil SCRIM (SKM).

La valeur cible allemande ($\mu = 0.53$ pour une mesure à 80 km/h) est atteinte par plus de 80% des surfaces relevées.

5.3.2 Texture

Au niveau de la texture des routes nationales, la répartition des valeurs PMP mesurées en 2009 sur l'ensemble du réseau est présentée à la Fig. 19.

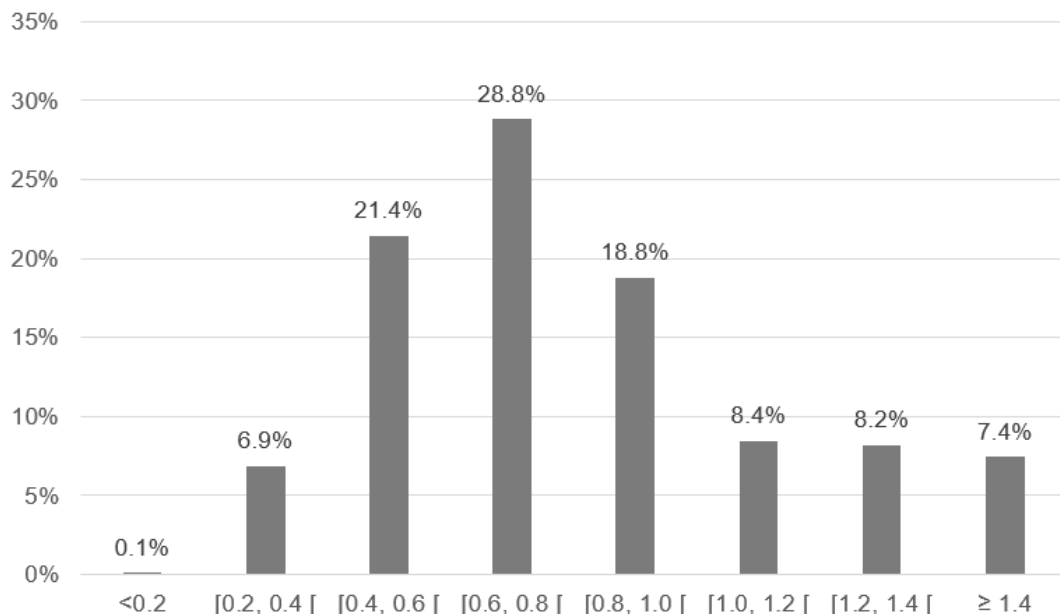


Fig. 19 Répartition des valeurs de texture PMP pour la campagne de relevé ZEB NS 09 sur le réseau des routes nationales.

Par rapport à la valeur limite PMP = 0.4 mm définie dans la circulaire française [23] pour une route interurbaine à 2 x 2 voies, seules 7% des surfaces présentent des textures insuffisantes. De plus, près des 2/3 des chaussées respectent le niveau de spécification qui doit être atteint en moyenne sur un tronçon évalué.

Les routes nationales présentent donc globalement peu de zones de texture insuffisante selon les exigences françaises, dans une proportion toutefois plus élevée que les zones où l'adhérence était faible.

Cette analyse globale ne permet toutefois pas d'identifier un lien direct entre une texture insuffisante et une adhérence déficiente. Il est nécessaire d'étudier dans le détail des zones de revêtement selon les critères définis plus haut.

5.4 Corrélation entre la texture et l'adhérence

5.4.1 Comparaison de la texture et l'adhérence pour des revêtements récents

Cette analyse sur les revêtements posés entre 2007 et 2009 a été effectuée pour trouver des conditions proches des conditions de réception d'un revêtement posé. Les secteurs qui ne dépassent pas 200m de long ne sont pas pris en compte, car considérés comme des réparations ponctuelles.

Les valeurs de coefficient de frottement μ et de PMP ont été moyennées sur chaque zone de pose analysée. Les valeurs moyennes, minimales et maximales des zones étudiées figurent en annexe (Annexe I).

Les valeurs moyennes de chaque zone sont comparées avec les valeurs limites pour le coefficient de frottement et la texture. Les différentes familles de revêtement ont également été renseignées. Le résultat est visible à la Fig. 20.

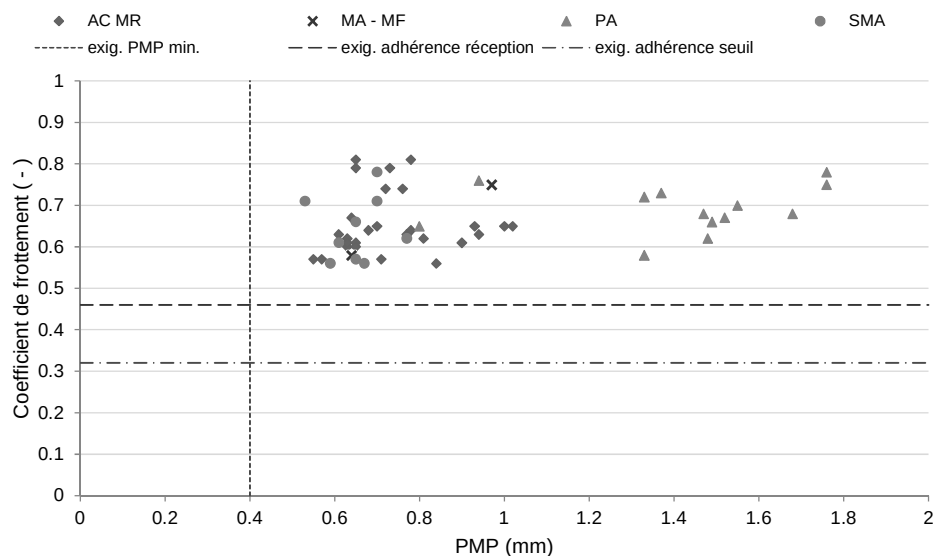


Fig. 20 Valeurs du coefficient de frottement μ en fonction de la texture pour les revêtements construits entre 2007 et 2009.

L'ensemble des revêtements identifiés est situé au-dessus de la valeur limite à la réception proposée par la norme allemande (voir [7]) pour le coefficient de frottement mesuré avec l'appareil SKM ($\mu = 0.46$). L'exigence sur la profondeur moyenne de profil recommandée dans la circulaire française [23] est également respectée pour la totalité des revêtements étudiés ici.

Le niveau élevé des coefficients de frottement μ mesurés semble indiquer que le film de liant a déjà été rompu. En effet, les mesures de la campagne ZEB NS 2009 ont été effectuées en 2009 (voire même en 2010) et les revêtements étudiés datent dans leur grande majorité de 2007 ou 2008, les revêtements de 2009 étant trop peu nombreux pour constituer un échantillon d'analyse de taille suffisante¹.

Au niveau des différents types de revêtement, les PA (enrobés drainants) se démarquent en raison de leur texture plus élevée, une propriété qui est recherchée pour ce type d'enrobé. Ceci explique sans doute que la circulaire française précise que l'exigence sur la texture ne s'applique pas aux enrobés drainants, ces derniers la satisfaisant dans tous les cas. Les enrobés drainants étudiés ici ne présentent toutefois pas un niveau d'adhérence supérieur ou inférieur aux autres types de revêtement, qui ont tous des valeurs de μ comprises entre 0.55 et 0.8.

A partir des zones de pose analysées ici, il n'est pas possible de dégager une tendance claire entre l'adhérence et la texture, puisque toutes respectent les deux limites proposées. De plus, le type de revêtement semble jouer un rôle important sur la texture mais n'influence que peu l'adhérence.

Pour cette raison, des revêtements dont les valeurs ne respectent pas les seuils limites d'adhérence ou de texture sont étudiés par la suite pour chercher un lien possible entre adhérence et texture.

¹ L'absence de revêtements de 2009 provient certainement du fait que ces derniers n'ont pas pu être mesurés lors de la campagne ZEBNS 2009 puisqu'ils étaient en cours de pose.

5.4.2 Revêtements avec une faible texture

Des revêtements présentant une valeur de texture basse sont retenus ici pour étudier l'influence de cette caractéristique sur l'adhérence mesurée. Afin de mieux cibler la recherche dans la base de données MISTRA Trasee, seul les revêtements AC ont été retenus, ces derniers présentant *a priori* une texture moins élevée que d'autres revêtements. Parmi ceux-ci, sont considérées uniquement les zones présentant en moyenne une valeur inférieure ou proche de l'exigence minimale (PMP = 0.4 mm) retenue par la circulaire française [23] pour une route interurbaine à 2x2 voies.

Comme pour le sous-chapitre précédent, les secteurs de moins de 200 m ont été écartés. Enfin, les revêtements avec une durée de service supérieure à 10 années n'ont pas été retenus afin de ne pas considérer des sections avec un polissage avancé. Les résultats de cette analyse sont présentés à la Fig. 21.

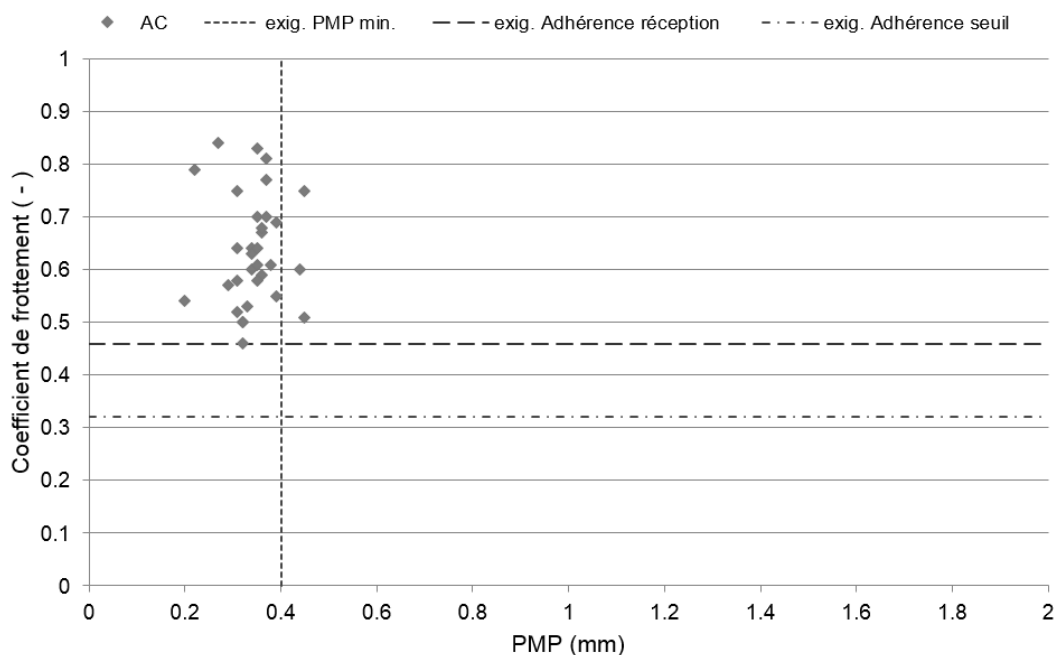


Fig. 21 Valeurs du coefficient de frottement μ en fonction de la texture pour les revêtements AC avec une texture faible.

Les résultats montrent que tous les revêtements AC étudiés respectent l'exigence en adhérence malgré une texture inférieure à l'exigence française. Ces revêtements ne présentent donc pas de problème d'adhérence sur surface sèche ou humide. En cas de chaussée mouillée, le manque de macrotexture peut conduire à un risque élevé d'aquaplanage.

Ces résultats ajoutés à ceux du chapitre précédent, rendent encore plus difficile de dégager une tendance pour lier les caractéristiques d'adhérence et de texture à partir des mesures étudiées ici.

5.4.3 Revêtements avec une faible adhérence

Dans cette dernière partie, les revêtements présentant un faible² coefficient de frottement ont été recherchés. Un filtre a été appliqué en recherchant des secteurs présentant en moyenne une valeur inférieure ou proche de l'exigence minimale de réception ($\mu = 0.46$) retenue par les normes allemandes pour l'appareil de mesure SKM.

² Le terme « d'adhérence faible » est utilisé ici puisque selon les exigences allemandes, la valeur limite de remplacement de 0.32 n'est pas atteinte pour la plupart des sites, ce qui ne nécessite donc pas des mesures d'assainissement.

Les données correspondantes étant en quantité restreinte, il n'a pas été possible de focaliser la recherche sur un type de revêtement particulier. Comme pour le sous-chapitre précédent, les secteurs de pose de moins de 200 m ont été écartés. Dans cette analyse, des revêtements âgés de 30 ans ont toutefois été admis vu la faible quantité de données correspondantes. Les résultats de cette analyse figurent à la Fig. 22.

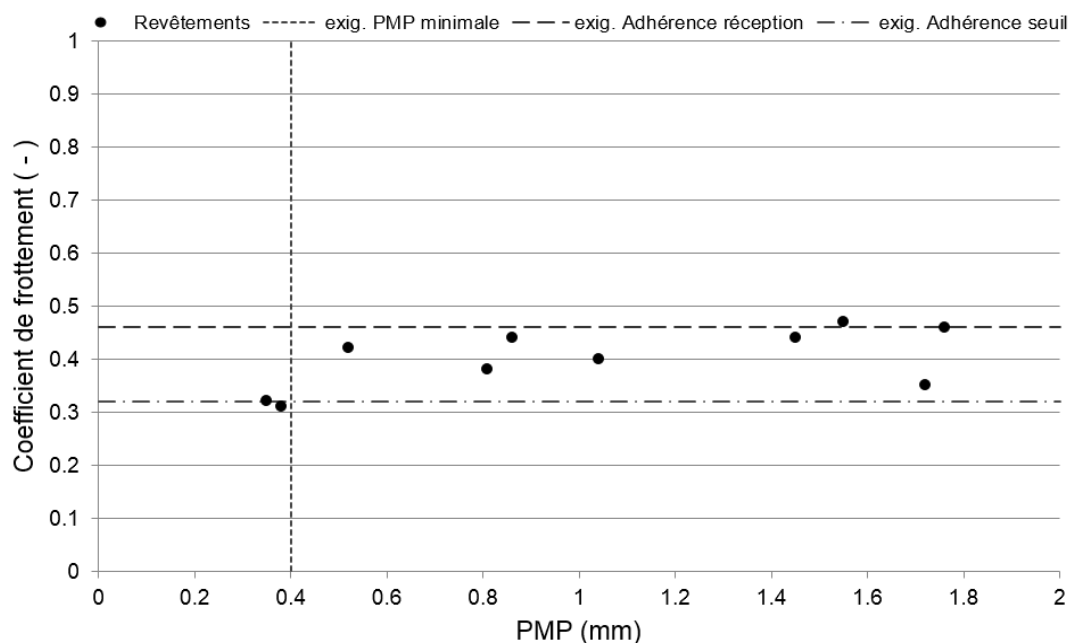


Fig. 22 Valeurs du coefficient de frottement μ en fonction de la texture pour les revêtements avec une mauvaise adhérence.

Il est constaté que la faible adhérence mesurée ne provient pas clairement d'une texture insuffisante puisque presque tous les revêtements étudiés satisfont à l'exigence minimale en PMP. Seuls deux revêtements sont situés à la limite ou sous la limite de 0.4 mm en PMP. Il s'agit des deux revêtements les plus âgés (30 ans chacun), dont la durée de vie est atteinte et qui nécessiteraient un remplacement.

Ce déficit d'adhérence provient sans doute d'une insuffisance au niveau de la microtexture, avec un probable polissage des granulats. La qualité de la texture, mesurée au niveau de la macrotexture n'est pas suffisante pour assurer un bon niveau d'adhérence.

5.5 Profondeur moyenne de profil par sorte d'enrobé de couche de roulement

Des statistiques sur les valeurs de la profondeur moyenne de profil des matériaux de couche de roulement les plus utilisés sur les routes nationales ont été établies, toujours sur la base des données de la campagne de relevé ZEB NS 2009. L'objectif de cette analyse est de connaître le niveau de texture que peut offrir la panoplie des revêtements suisses pour couches de roulement, et de pouvoir juger de leur adéquation avec les différentes typologies de routes.

Les valeurs du centile à 10%, la médiane, la moyenne, l'écart-type et la taille de l'échantillon correspondant sont données pour chaque sorte de matériau dans le tableau ci-après. La distribution de la profondeur moyenne du profil est représentée, pour chaque sorte de matériau, dans la Fig. 23. La distribution cumulée est illustrée sur la Fig. 24.

Tab. 6 Statistiques sur la profondeur moyenne de profil pour les différentes sortes de couches de roulement sur les routes nationales

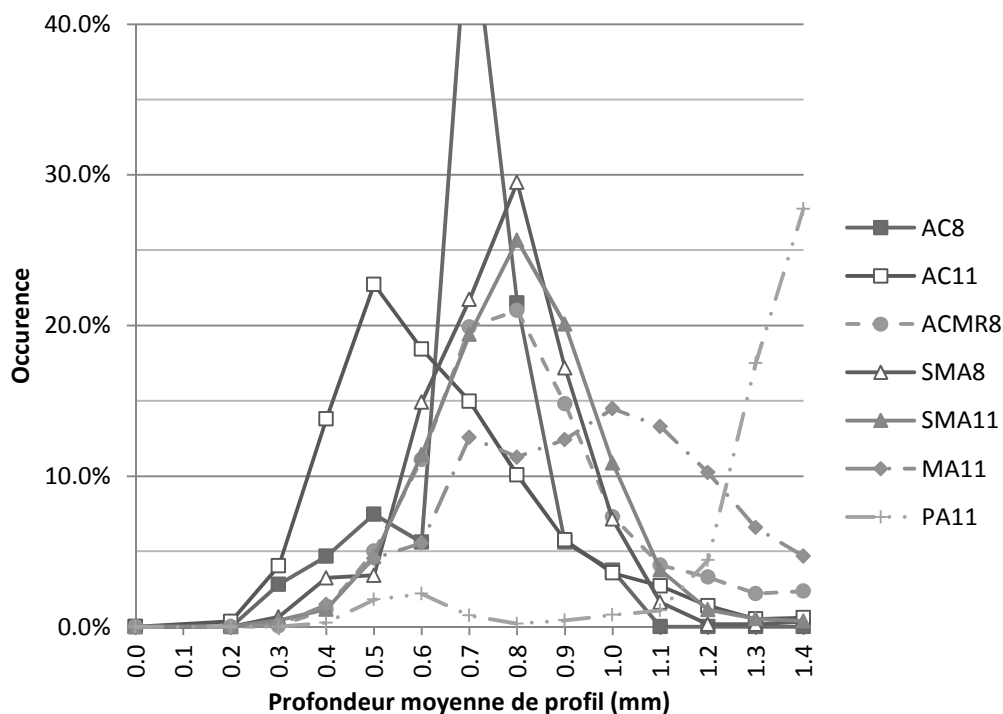
Sorte de matériau	Centile 10% (mm)	Médiane (mm)	Moyenne (mm)	Ecart-type (mm)	Taille échantillon
AC 8	0.44	0.67	0.66	0.14	107
AC 11	0.35	0.55	0.60	0.29	7719
AC MR 8	0.55	0.76	0.84	0.30	6193
SMA 8	0.53	0.72	0.71	0.15	617
SMA 11	0.54	0.75	0.76	0.18	9015
MA 11	0.58	0.93	0.92	0.26	684
PA 11	1.18	1.38	1.36	0.26	4987

Les enrobés AC sont, comme attendu, ceux qui présentent les textures les plus faibles. Étonnamment, le AC 8 offre une texture nettement plus élevée que celle du AC 11. La taille réduite de l'échantillon AC 8 analysé (environ 10 km de voies) peut mettre en doute sa représentativité.

Les enrobés AC MR 8, SMA 8 et SMA 11 offrent des textures équivalentes avec seulement une variabilité plus importante pour le AC MR 8.

Les enrobés MA 11 présentent des textures plus élevées en moyenne que les matériaux précédents mais avec une variabilité assez importante.

Les PA 11 représentent logiquement la couche de roulement avec la texture la plus élevée. Les valeurs de profondeur moyenne de profil ont été données pour ce matériau, bien que les directives françaises considèrent que cet indicateur n'est, dans ce cas, pas significatif.

**Fig. 23** Distribution de la profondeur moyenne de profil par sorte de couche de roulement.

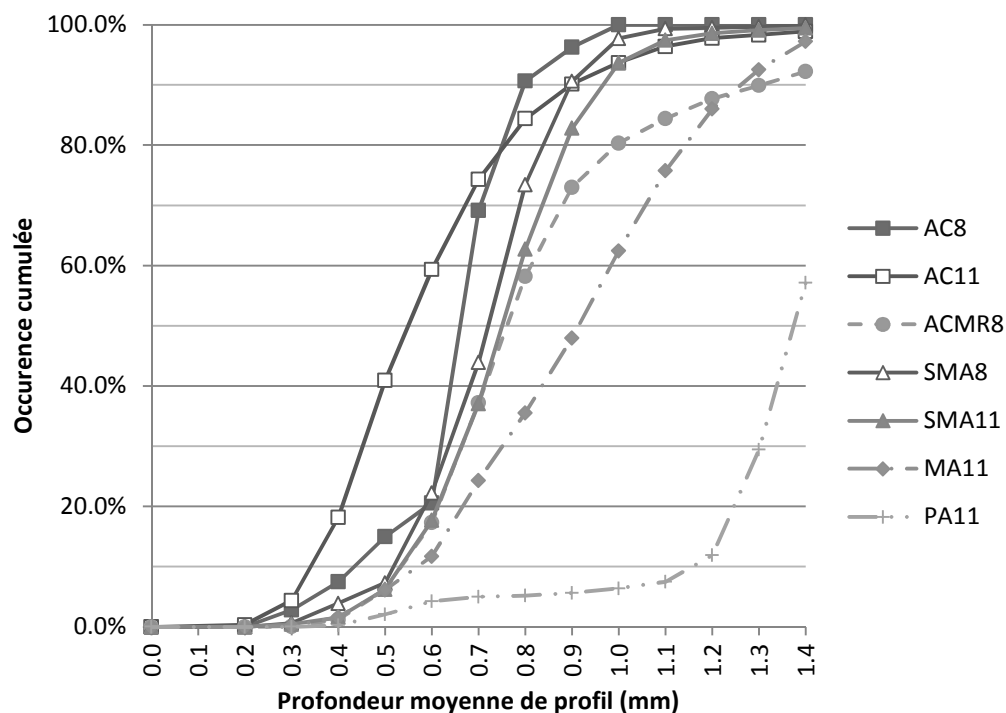


Fig. 24 Distribution cumulée de la profondeur moyenne de profil par sorte de couche de roulement.

Sur la base des valeurs statistiques du tableau 6 et des figures 23 et 24 ci-dessus ainsi que des exigences des directives françaises, il est possible de déterminer l'adéquation des sortes de couche de roulement étudiées pour les différentes catégories de route. Les exigences sur la macrotexture au Royaume-Uni nous semblent trop sévères, sans oublier que la plupart des matériaux suisses et français n'arrivent pas à respecter ces exigences.

Certaines sortes de couche de roulement peu ou pas utilisées sur les routes nationales (par exemple les OB, HRA et les Microrevêtements à froid/chaud) ne sont pas considérées dans cette analyse.

Afin de déterminer si un matériau suisse est adapté pour une catégorie de route, sa valeur de centile à 10% et sa valeur médiane sont comparées respectivement aux profondeurs moyennes de texture minimale et spécifiques (moyenne).

Tab. 7 Sortes de couche de roulement recommandées par catégorie de route sur la base de la profondeur moyenne de profil

Sorte de matériau	Catégorie de route					
	V ≤ 50 km/h	V = 80 km/h Pente ≤ 5%	V = 80 km/h Pente > 5%	V = 100 km/h Pente ≤ 5%	V = 100 km/h Pente > 5%	V = 120 km/h
PMP Moy.	0.40	0.60	0.80	0.60	0.80	0.70
PMP Min.	0.30	0.40	0.60	0.40	0.60	0.50
AC 8	+	+(1)		+(1)		
AC 11	+					
AC MR 8	+	+	+(2)	+	+(2)	+
SMA 8	+	+	+(2)	+	+(2)	+
SMA 11	+	+	+(2)	+	+(2)	+
MA 11	+	+	+	+	+	+
PA 11	+	+	+	+	+	+

(1) La représentativité de la profondeur moyenne de profil pour le AC 8 doit être vérifiée.

(2) Les AC MR et SMA présentent des valeurs qui sont légèrement en dessous des exigences françaises.

5.6 Synthèse de la situation en Suisse

Au niveau des revêtements récents étudiés (pose entre 2007 et 2009), tous remplissaient les critères de réception pour la texture recommandés par la circulaire française.

De manière générale, les revêtements avec une adhérence ou une texture insuffisante ont été rarement rencontrés (respectivement 0.3% et 7% des cas). Le réseau des routes nationales est en effet régulièrement ausculté et les investissements pour remplacer des revêtements présentant d'éventuels déficits d'adhérence y sont importants.

Il est important de relever que les essais de mesure de l'adhérence réalisés en Suisse le sont sur une surface mouillée mais avec une épaisseur du film d'eau relativement faible³, ne permettant pas de mettre en œuvre les conditions correspondantes au phénomène d'aquaplanage.

³ La hauteur du film d'eau est de l'ordre de 0.5 mm pour les appareils Skiddomètre et SKM.

6 Conclusions et recommandations

6.1 Conclusions

La qualité antidérapante d'une chaussée routière est la conséquence de la mise en œuvre d'une combinaison de phénomènes physiques agissants à l'échelle de la microtexture et de la macrotexture du revêtement.

La qualité de la microtexture est garantie actuellement en Suisse par le contrôle systématique, et à *priori*, de la conformité des granulats utilisés en couche de roulement, notamment par la définition de la seule exigence contraignante qui est la résistance au polissage (valeur PSV).

L'analyse des valeurs de texture (Profondeur moyenne de profil) et d'adhérence (coefficient de frottement) mesurées sur les routes nationales suisses ne permet pas de mettre en évidence une corrélation entre ces deux caractéristiques. A noter que le coefficient de frottement considéré est obtenu avec l'appareil SKM qui, de par sa vitesse de glissement faible, favorise l'effet de la microtexture par rapport à la macrotexture. Il n'est par contre pas possible actuellement d'affirmer si une corrélation peut exister entre la texture et le coefficient de frottement obtenu par un appareil avec une vitesse de glissement élevée, type Skiddomètre.

La valeur de la macrotexture est une condition nécessaire pour assurer l'adhérence, vis-à-vis du risque d'aquaplanage, mais n'est pas suffisante, puisque des revêtements à texture élevée mais avec une faible adhérence ont été rencontrés. Une macrorugosité importante ne compense pas un polissage des granulats qui induit un déficit en microrugosité, et donc un coefficient de frottement insuffisant.

La mesure de l'adhérence *in situ* est réalisée en Suisse avec différents appareils (Pendule SRT, Skiddomètre, SKM). Ces méthodes ne permettent pas à *priori* de créer les conditions du phénomène d'aquaplanage, alors que les exigences de textures minimales proposées en France et au Royaume Uni sont précisément destinées à se prémunir de l'apparition de ce phénomène très critique.

Il apparaît clairement que l'utilisation d'une mesure de texture pour la réception d'une nouvelle couche de roulement ne constitue pas une démarche qui garantit l'obtention d'une bonne qualité antidérapante.

Par contre, il est primordial de garantir une macrotexture des couches de roulement suffisante afin de se prémunir du risque d'aquaplanage. Cet objectif peut être atteint par le choix en amont de types de revêtements adaptés à la typologie de la route, et plus particulièrement la vitesse de circulation et la pente.

6.2 Recommandations

Les résultats et conclusions établis précédemment permettent, pour la problématique de réception de l'adhérence sur la base de mesure de texture, de proposer les recommandations suivantes :

- Maintien de l'exigence actuelle de la norme SN 670 103b sur la valeur CPA du granulat (granulats pour couche de roulement). Cette caractérisation est réalisée annuellement par les fournisseurs de granulats par l'établissement d'un dossier de conformité des granulats.
- Choix de la sorte d'enrobé offrant une macrotexture suffisante. S'inspirer pour cela des recommandations proposées dans ce rapport (Tab. 7, chap.5.5).
- En cas de doute sur la valeur de la macrotexture (sur la base de l'aspect visuel du revêtement), le maître d'ouvrage peut procéder à un contrôle de la macrotexture avec l'essai de la tache de sable ou la profilométrie laser.
- Contrôle de la qualité antidérapante du revêtement au minimum 6 mois après la construction. En cas de conformité, procéder à la réception définitive du lot.

Annexes

I	Données de la campagne de relevés ZEB NS 2009	47
I.1	Valeurs de la texture et de l'adhérence pour des revêtements récents	47
I.2	Valeurs de la texture et de l'adhérence pour les revêtements AC avec une faible texture	48
I.3	Valeurs de la texture et de l'adhérence pour les revêtements avec une faible adhérence	49

I Données de la campagne de relevés ZEB NS 2009

I.1 Valeurs de la texture et de l'adhérence pour des revêtements récents

Tab. 1 Valeurs de texture et d'adhérence pour des revêtements récents (2007, 2008, 2009)

Nr.	Construction	Surface	Longueur (m)	μ moy	μ min	μ max	PMP moy	PMP min	PMP max
1	2009	AC11H	876	0.57	0.52	0.65	0.55	0.36	0.94
2	2007	ACMR11	5'542	0.63	0.42	0.86	0.94	0.63	1.19
3	2007	ACMR11	5'542	0.65	0.46	0.82	1	0.74	1.36
4	2008	ACMR11	1'740	0.62	0.52	0.67	0.81	0.72	0.91
5	2007	ACMR6P	3'731	0.61	0.53	0.68	0.65	0.5	0.81
6	2007	ACMR6P	2'497	0.6	0.52	0.67	0.63	0.49	0.89
7	2007	ACMR6P	245	0.58	0.56	0.61	0.64	0.63	0.65
8	2007	ACMR6P	157	0.57	0.55	0.59	0.71	0.71	0.71
9	2007	ACMR6P	3'176	0.65	0.56	0.7	0.7	0.59	0.92
10	2007	ACMR6P	1'930	0.64	0.59	0.69	0.68	0.63	0.76
11	2007	ACMR8	724	0.56	0.52	0.59	0.84	0.76	0.91
12	2007	ACMR8	3'921	0.63	0.59	0.73	0.77	0.64	1.28
13	2007	ACMR8	720	0.61	0.54	0.75	0.9	0.75	1.02
14	2007	ACMR8	3'192	0.64	0.46	0.76	0.78	0.6	1.36
15	2007	ACMR8	996	0.57	0.38	0.7	0.57	0.49	0.66
16	2008	ACMR8	1'747	0.74	0.69	0.81	0.72	0.65	0.79
17	2008	ACMR8	5'712	0.74	0.64	0.81	0.76	0.67	0.92
18	2007	ACMR8	4'229	0.79	0.52	0.92	0.65	0.54	0.82
19	2007	ACMR8	951	0.6	0.48	0.75	0.65	0.48	0.85
20	2008	ACMR8	1'755	0.79	0.69	0.85	0.73	0.55	0.81
21	2008	ACMR8	5'743	0.81	0.61	0.89	0.78	0.63	0.98
22	2007	ACMR8	4'229	0.81	0.59	0.91	0.65	0.49	0.87
23	2007	ACMR8	2'708	0.67	0.57	0.75	0.64	0.54	0.73
24	2007	ACMR8	340	0.62	0.55	0.7	0.63	0.63	0.63
25	2007	ACMR8	2'750	0.63	0.54	0.71	0.61	0.53	0.71
26	2007	ACMR8	470	0.61	0.56	0.64	0.63	0.6	0.65
27	2008	ACMR8PL	2'021	0.65	0.52	0.75	1.02	0.65	1.28
28	2008	ACMR8PL	1'921	0.65	0.58	0.72	0.93	0.61	1.5
29	2008	MA11T	678	0.75	0.66	0.8	0.97	0.64	1.2
30	2008	MF6	4'615	0.58	0.44	0.67	0.64	0.47	0.96
31	2007	PA11	2'130	0.62	0.55	0.72	1.48	1.09	1.59
32	2007	PA11	770	0.66	0.6	0.75	1.49	1.26	1.65
33	2007	PA11	1'998	0.58	0.5	0.65	1.33	1.22	1.46
34	2008	PA11P	408	0.75	0.73	0.77	1.76	1.69	1.89
35	2008	PA11P	350	0.78	0.74	0.8	1.76	1.73	1.8
36	2008	PA11P	1'901	0.7	0.66	0.72	1.55	1.39	2.8
37	2008	PA11P	668	0.67	0.62	0.7	1.52	1.4	1.7
38	2008	PA11P	1'709	0.68	0.61	0.71	1.47	1.34	1.75
39	2008	PA11P	476	0.65	0.57	0.71	0.8	0.41	1.46

Tab. 1 Valeurs de texture et d'adhérence pour des revêtements récents (2007, 2008, 2009)

Nr.	Construction	Surface	Longueur (m)	μ moy	μ min	μ max	PMP moy	PMP min	PMP max
40	2008	PA11P	1'930	0.73	0.64	0.78	1.37	1.29	1.5
41	2008	PA11P	4'271	0.72	0.67	0.82	1.33	0.82	1.55
42	2008	PA11P	512	0.68	0.65	0.72	1.68	1.55	1.87
43	2008	PA8PLO	1'891	0.76	0.69	0.8	0.94	0.88	1
44	2007	SMA11	576	0.71	0.64	0.81	0.7	0.62	0.77
45	2007	SMA11	1'473	0.62	0.51	0.69	0.77	0.55	1.38
46	2007	SMA11P	492	0.78	0.63	0.92	0.7	0.65	0.76
47	2007	SMA8	619	0.61	0.46	0.76	0.61	0.51	0.69
48	2007	SMA8	574	0.71	0.6	0.87	0.53	0.37	0.62
49	2007	SMA8	260	0.66	0.66	0.66	0.65	0.65	0.65
50	2007	SMA8	376	0.56	0.51	0.63	0.59	0.48	0.7
51	2007	SMA8	360	0.56	0.51	0.58	0.67	0.6	0.73
52	2008	SMA8	165	0.57	0.57	0.57	0.65	0.65	0.65

I.2 Valeurs de la texture et de l'adhérence pour les revêtements AC avec une faible texture

Tab. 2 Valeurs de texture et d'adhérence pour les revêtements AC avec une faible texture

Nr.	Construction	Surface	Longueur (m)	μ moy	μ min	μ max	PMP moy	PMP min	PMP max
1	2005	AC11S	3'337	0.6	0.49	0.77	0.44	0.36	0.6
2	2001	AC11P	2'943	0.5	0.41	0.7	0.32	0.25	0.5
3	2005	AC11S	3'333	0.64	0.56	0.73	0.34	0.31	0.64
4	2005	AC11S	3'581	0.64	0.57	0.74	0.35	0.31	0.64
5	2005	AC11S	3'048	0.67	0.58	0.82	0.36	0.3	0.67
6	2001	AC11P	2'393	0.52	0.43	0.67	0.31	0.25	0.52
7	1999	AC11N	1'425	0.75	0.49	0.94	0.45	0.34	0.75
8	2005	AC11N	1'035	0.77	0.58	1.01	0.37	0.15	0.77
9	2003	AC11N	212	0.79	0.76	0.82	0.22	0.2	0.79
10	2004	AC11N	530	0.54	0.48	0.63	0.2	0.14	0.54
11	2003	AC11N	437	0.75	0.66	0.81	0.31	0.28	0.75
12	2003	AC11N	1'039	0.7	0.6	0.8	0.35	0.26	0.7
13	2004	AC11N	400	0.81	0.7	0.96	0.37	0.3	0.81
14	2004	AC11N	726	0.83	0.72	0.95	0.35	0.28	0.83
15	2005	AC11N	331	0.84	0.76	0.92	0.27	0.23	0.84
16	2002	AC11N	369	0.64	0.61	0.66	0.31	0.29	0.64
17	2001	ACMR11P	1'467	0.5	0.31	0.68	0.32	0.27	0.5
18	2002	AC11S	298	0.58	0.47	0.67	0.31	0.28	0.58
19	2003	AC11S	2'219	0.7	0.56	0.78	0.37	0.27	0.7
20	2003	AC11S	2'221	0.69	0.51	0.8	0.39	0.3	0.69
21	2000	AC11S	500	0.61	0.5	0.76	0.38	0.34	0.61
22	2002	AC11S	436	0.6	0.55	0.63	0.34	0.31	0.6
23	2002	AC11S	1'339	0.51	0.43	0.64	0.45	0.32	0.51
24	2002	AC11S	1'296	0.63	0.5	0.81	0.34	0.24	0.63
25	2004	AC11N	1'369	0.55	0.4	0.73	0.39	0.25	0.55

Tab. 2 Valeurs de texture et d'adhérence pour les revêtements AC avec une faible texture

Nr.	Construction	Surface	Longueur (m)	μ moy	μ min	μ max	PMP moy	PMP min	PMP max
26	2000	AC11N	586	0.59	0.33	0.71	0.36	0.29	0.59
27	1999	AC11N	752	0.58	0.51	0.66	0.35	0.31	0.58
28	1998	AC11N	875	0.57	0.49	0.73	0.29	0.27	0.57
29	2002	AC11N	925	0.61	0.43	0.69	0.35	0.28	0.61
30	2005	AC11N	562	0.53	0.48	0.58	0.33	0.29	0.53
31	2001	AC11	508	0.68	0.64	0.72	0.36	0.33	0.68
32	2006	AC16	642	0.46	0.38	0.52	0.32	0.28	0.46

I.3 Valeurs de la texture et de l'adhérence pour les revêtements avec une faible adhérence

Tab. 3 Valeurs de texture et d'adhérence pour les revêtements avec une faible adhérence

Nr.	Construction	Surface	Longueur (m)	μ moy	μ min	μ max	PMP moy	PMP min	PMP max
1	2000	ACMR11	1'750	0.44	0.38	0.6	1.45	1.09	1.7
2	1986	AC16	4'376	0.42	0.36	0.47	0.52	0.42	0.84
3	2005	ACMR11	300	0.4	0.37	0.44	1.04	0.97	1.13
4	1995	PA11	372	0.35	0.33	0.38	1.72	1.71	1.72
5	1997	PA11	2'500	0.47	0.3	0.73	1.55	1.37	1.87
6	2004	ACMR11	4'386	0.46	0.32	0.61	1.76	0.63	4.04
7	2003	SMA11	460	0.38	0.36	0.42	0.81	0.78	0.85
8	2002	SMA11	652	0.44	0.36	0.52	0.86	0.7	1
9	1985	MA16	3'049	0.31	0.24	0.55	0.38	0.32	0.51
10	1985	TA16	3'618	0.32	0.26	0.39	0.35	0.22	0.71

Glossaire

Terme	Signification
al.	« et autre », auteurs
AC	Béton bitumineux, Asphalt Concrete (AC)
AC MR	Béton bitumineux macrorugueux (AC MR)
BBA	Béton Bitumineux Aéronautique (BBA)
BBD _r	Béton Bitumineux Drainant (BBD _r)
BBM	Béton Bitumineux Mince (BBM)
BBME	Béton Bitumineux à Module Elevé (BBME)
BBSG	Béton Bitumineux Semi-Grenu (BBSG)
BBTM	Béton Bitumineux Très Mince (BBTM)
BRRC	Centre de recherches routières, Belgique (BRRC)
CFL	Coefficient de frottement longitudinal (CFL)
CFT SFC	Coefficient de frottement transversal (CFT) <i>Sideway Force Coefficient (SFC)</i>
CFTR	Comité Français pour les Techniques Routières (CFTR)
CPA PSV	Coefficient de polissage accéléré (CPA) <i>Polished-Stone Value (PSV)</i>
DWW	Waterbouwkunde Friction Tester, remorque d'adhérence, Pays-Bas (DWW)
EFI	European Friction Index (EFI)
EN	Normes européennes (EN)
EPF	Ecole Polytechnique Fédérale (EPF)
FEHRL	Forum Européen des Laboratoires Nationaux de Recherche Routière (FEHRL)
GRAP	Système de polissage des granulats par projection (MLPC®)
HERMES	Harmonization of european routine and research measuring equipment for skid resistance of roads and runaways (HERMES)
HRA	Hot Rolled Asphalt (HRA)
HSc	Hauteur de sable corrigée (HSc)
IFSTTAR	Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux (IFSTTAR)
IMAG	Instrument de Mesure Automatique de la Glissance, Vectra (IMAG)
ISO	Organisation internationale de normalisation (ISO)
LCPC	Laboratoire central des Ponts et Chaussées, IFSTTAR à partir de 2011 (LCPC)
MA	Mastic asphalt (MA)
MISTRA	Management-Informationssystem Strasse und Strassenverkehr, ASTRA ; Système d'information pour la gestion des routes et du trafic, OFROU (MISTRA)
MLPC®	Marque de matériel de laboratoire pour enrobés, IFSTTAR
NF	Norme française (NF)
OB	Oberflächenbehandlung, gravillonnage (enduit superficiel) (OB)
OFROU ASTRA	Office fédéral des routes <i>Bundesamt für Strassen</i>
PA	Porous asphalt, enrobé drainant (PA)
Pen	Pénétrabilité (Pen)

PMB	Bitumes modifiés aux polymères (PMB)
PMP MPD	Profondeur moyenne de profil (PMP) <i>Mean Profile Depth (MDP)</i>
PMT MTD	Profondeur moyenne de texture (PMT) <i>Mean Texture Depth (MTD)</i>
PTE ETD	Profondeur de texture équivalente (PTE) <i>Equivalent Texture Depth (ETD)</i>
ROAR	Analyseur de route et enregistreur du Norsemeter (ROAR)
RPA	Résistance au polissage accéléré (RPA)
SACR	Société d'analyse et de contrôles routiers, société anonyme (SACR AG)
SCRIM	Sidewayforce Coefficient Routine Investigation Machine (SCRIM)
SIC	Signal Image Communication, laboratoire rattaché à l'Institut de Recherche XLIM, Poitiers (SIC)
SKM	Seitenkraft-Messverfahren (SKM)
SMA	Splittmastixasphalt (SMA)
SN	Normes suisses (SN)
SRM	Stuttgarter Reibungsmesser (SRM)
SRT	Skid Resistance Test (SRT)
TATRA	Tatra Runway Tester, véhicule d'essai de piste (TATRA, TRT)
TRL	Laboratoire de recherche en transports, Royaume Uni (TRL)
VERT	Projet Vehicle Road Tyre Interaction (VERT)
VSS	Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS)
XP	Norme expérimentale (XP)
ZEB NS	Zustandserfassung und -bewertung der Nationalstrassen (ZEB NS)
ZTV	Norme allemande (ZTV)

Bibliographie

- [1] M. Gothié (2005), « **Les mesures de l'adhérence des chaussées en France et leur interprétation** », *Bulletin des laboratoires des ponts et chaussées* n°266, pp.53-69.
- [2] Y. Delanne, M. Gothié (2005), « **Influence de l'état de mouillage sur les performances d'adhérence des pneumatiques** », *Bulletin des laboratoires des ponts et chaussées* n°255, pp.23-34.
- [3] M.-T. Do (2005), « **Relation entre la macrotexture et l'adhérence** », *Bulletin des laboratoires des ponts et chaussées* n°255, pp. 117-136.
- [4] M.-T. Do, Z. Tang, K. Kane, F. De Larrard (Octobre 2008), « **Laboratory Test Method for the Prediction of the Evolution of Road Skid Resistance with Traffic** », *Proceedings 6th International Symposium SURF 2008 on pavement surface characteristics*.
- [5] G. Boscaino, F.-G. Praticò (2001), « **Classification et inventaire des indicateurs de la texture superficielle des revêtements des chaussées** », *Bulletin des laboratoires des ponts et chaussées*, n°234, pp. 17-34.
- [6] Association suisse des professionnels de la route et des transports VSS (2011), « **Caractéristiques de surface des chaussées - Texture** », SN 640511a.
- [7] A. Jacot, Prof. H. P. Lindenmann, L. Seiler (2007), « **Bases pour la révision des normes sur l'adhérence** », Office fédéral des routes OFROU, *Projet de recherche VSS 1999/298, Rapport VSS No. 1202*.
- [8] Prof. H. P. Lindenmann, F. Baumgartner, A. Jacot, E. Kälin (2010), « **Überprüfung des Bewertungshintergrundes zur Beurteilung der Strassengriffigkeit** », Office fédéral des routes OFROU, *Projet de recherche VSS 2005/702, Rapport VSS No. 1366*.
- [9] M. Gothié (Mai 2005), « **Water influence on skid resistance – Standardisation : input of the HERMES programme** », *International Conference on Surface Friction - Roads & runaways, Christchurch*.
- [10] W.-D.-H. Woodward, A.-R. Woodside, J.-H. Jellie (Mai 2005), « **Early and mid life SMA skid resistance** », *Proceedings, International Conference on Surface Friction, Christchurch*.
- [11] K.-K. McGhee, G.-W. Flintsch (2003), « **High-speed texture measurement of pavements** ».
- [12] M.-T. Do, M. Kane, V. Cerezo (Janvier 2013), « **Laboratory test methods for polishing asphalt surfaces and predicting their skid resistance** », *TRB 92nd Annual Meeting (Transportation Research Board)*.
- [13] New-Zealand Transport Agency NZTA (Février 2014), « **Summer ice, know the danger** », www.nzta.govt.nz.
- [14] V. Cerezo, M. Gothie (Janvier 2008), « **Pavement prediction performance models and relation with traffic fatalities and injuries** », *6th symposium on pavement surface characteristics: SURF*.
- [15] W.-D.-H. Woodward, A.-R. Woodside (2003), « **Predicting the early life skid resistance of asphalt surfacings** », *PRO 28: 6th International RILEM Symposium on Performance Testing and Evaluation of Bituminous Materials (PTEBM'03)*, RILEM Publications, p. 198.
- [16] Comité européen de normalisation CEN (2010) « **Caractéristiques de surface des routes et aéroports - 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 tâche** » EN 13036-1.
- [17] Association suisse des professionnels de la route et des transports VSS (2006), « **Caractéristiques de surface des routes et aéroports – Caractérisation de la texture d'un revêtement de chaussée à partir de relevés de profil – Partie 1 : Détermination de la profondeur moyenne de la texture** », SN 640511-11.
- [18] LCPC, VECTRA France (2009), « **RUGO – Mesure en continu de la macrotexture de la chaussée** ». http://vectrafrance.com/fileadmin/Documents/Rugo_FR.pdf (consulté le 31.07.2015)
- [19] V. Lédée, G. Delalande, P. Dupont (2005), « **Adhérence et granulats** », *Bulletin des laboratoires des ponts et chaussées* n°255, pp., 91-116.
- [20] Comité européen de normalisation CEN (2009), « **Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats – Partie 8 : détermination du coefficient de polissage accéléré** », EN 1097-8.
- [21] Association française de normalisation AFNOR (1997), « **Granulats – Détermination de la résistance au polissage accéléré des gravillons – Méthode par projection** », *norme expérimentale XP P 18-580*.
- [22] Association suisse des professionnels de la route et des transports VSS (1985), « **Qualité antidérapante – Méthode de mesure** », SN 640510b.

-
- [23] Direction des routes France DTRF (2002), « **Circulaire n°2002-39 du 16 mai 2002 relative à l'adhérence des couches de roulement neuves et au contrôle de la macrotexture** », *NOR EQU0210090C*.
-
- [24] P. Dupont, A. Bauduin (2005), « **La nouvelle circulaire adhérence de la Direction des routes nationales de France** », *Bulletin des laboratoires des ponts et chaussées n°255*, 159-168.
-
- [25] Association française de normalisation AFNOR (2010), « **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 P 98-150-1*.
-
- [26] Comité français pour les techniques routières CFTR (Juillet 2002), « **Aides au choix des couches de roulement vis-à-vis de l'adhérence** », *CFTR info n°7*.
-
- [27] T. Parry, H. Viner, R. Vinhal (2005), « **Politique de gestion de l'adhérence au Royaume-Uni** », *Route/Roads - Association mondiale de la route AIPCR n°326*, p.12.
-
- [28] Association suisse des professionnels de la route et des transports VSS (2003), « **Gestion de l'entretien des chaussées (GEC) – Relevé d'état et appréciation en valeur d'indice** », *SN 640925b*.
-

Clôture du projet



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'environnement, des transports,
de l'énergie et de la communication DETEC
Office fédéral des routes OFROU

RECHERCHE DANS LE DOMAINE ROUTIER DU DETEC

Version du 09.10.2013

Formulaire N° 3 : Clôture du projet

établi / modifié le : 30.11.2015

Données de base

Projet N° : VSS 2008/702

Titre du projet : Réception de l'adhérence de nouveaux revêtements sur la base de la macrotexture

Echéance effective : 30.11.2015

Textes :

Résumé des résultats du projet :

Le projet de recherche contient une synthèse des connaissances internationales pertinentes concernant la problématique de la réception de la qualité antidérapante des nouveaux revêtements avec la valeur de la macrotexture. Des exigences sont notamment en vigueur en France et au Royaume Uni en fonction de la classe et de la typologie de la route.

Les phénomènes physiques qui relient l'adhérence, la macrotexture, la microtexture et la présence du film d'eau sont abordés. Le lien entre la macrotexture et l'apparition du phénomène d'aquaplanage est particulièrement mis en évidence.

L'analyse des valeurs de texture (Profondeur moyenne de profil) et d'adhérence (coefficient de frottement) mesurées sur les routes nationales suisses ne permet pas de mettre en évidence une corrélation entre ces deux caractéristiques. Cette analyse montre que des revêtements avec peu de texture peuvent présenter de bonnes valeurs d'adhérence, et que des revêtements avec une adhérence faible se caractérisent parfois par des valeurs de texture élevées.

En éliminant le film d'eau, d'une épaisseur de 1 à 5 mm, entre le pneu et la surface de la chaussée, la macrotexture joue un rôle essentiel pour lutter contre le risque d'aquaplanage. Il est donc important de garantir un niveau suffisant pour la valeur de macrotexture par le choix d'un revêtement adapté à la classe et la typologie de la route. La macrotexture doit être associée à une bonne microtexture afin de rompre l'épaisseur de film d'eau résiduel et mobiliser un contact direct entre le pneu et la surface du granulat.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'environnement, des transports,
de l'énergie et de la communication DETEC
Office fédéral des routes OFROU

Atteinte des objectifs :

Le projet de recherche démontre l'importance de garantir une macrotexture suffisante pour les nouveaux revêtements.
La proposition d'une méthodologie pour la réception de la qualité antidérapante des nouveaux revêtements est un objectif atteint avec une légère déviation par rapport aux hypothèses du projet initial. En effet, la mesure de la macrotexture seule ne garantit pas une qualité antidérapante conforme aux attentes. Le niveau de macrotexture doit toujours être associé avec une microtexture des granulats suffisante.

Déductions et recommandations :

Le projet aboutit aux recommandations suivantes :

- 1) Maintien de l'exigence actuelle de la norme SN 670 103b sur la valeur CPA du granulat (granulats pour couche de roulement).
- 2) Choix de sortes d'enrobés avec un niveau de texture adapté à la classe et à la typologie de la route. Des recommandations sont données dans le rapport pour permettre ce choix.
- 3) En cas de doute sur la valeur de la macrotexture (sur la base de l'aspect visuel du revêtement), le maître d'ouvrage peut procéder à un contrôle de la macrotexture avec l'essai de la tache de sable ou la profilométrie laser.
- 4) Contrôle de la qualité antidérapante du revêtement au minimum 6 mois après la construction. En cas de conformité, procéder à la réception définitive du lot.

Publications :

Aucune

Chef/cheffe de projet :

Nom : Ould Henia

Prénom : Mehdi

Service, entreprise, institut : Nibuxs Sàrl

Signature du chef/de la cheffe de projet :

16.12.2015



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'environnement, des transports,
de l'énergie et de la communication DETEC
Office fédéral des routes OFROU

RECHERCHE DANS LE DOMAINE ROUTIER DU DETEC

Formulaire N° 3 : Clôture du projet

Appréciation de la commission de suivi :

Evaluation :

L'objectif du projet est atteint après une adaptation dont la justification se base sur les résultats obtenus.

La présente recherche arrive à la conclusion que selon les connaissances internationales, la macrotexture est un aspect très important pour la qualité antidérapante. Néanmoins, elle ne peut garantir à elle seule un revêtement conforme par rapport à cette caractéristique, ce que semble être confirmé en Suisse une analyse sur la base des résultats de la campagne ZEB NS 2009.

Une méthodologie pour la réception de la qualité antidérapante des nouveaux revêtements est proposée dans les conclusions.

Mise en oeuvre :

Les résultats du présent mandat devraient servir de base pour la révision des normes concernant le choix de revêtements pour couches de surface.

Besoin supplémentaire en matière de recherche :

Aucun

Influence sur les normes :

Les résultats obtenus sont à prendre en considération lors de la rédaction des normes sur les exigences pour les caractéristiques de surface.

Président/Présidente de la commission de suivi :

Nom : Seiler

Prénom : Luzia

Service, entreprise, institut : OFROU

Signature du président/ de la présidente de la commission de suivi :

14.12.2015

Index des rapports de recherche en matière de route

L'index actuel des rapports publiés dernièrement est à télécharger sur notre site www.astra.admin.ch (Service → Recherche en matière de routes → Downloads → Formulaires).