



Cerema

Centre-Est



# Mesures d'adhérence

Direction : Direction Laboratoire de Lyon

Auteur : Cédric CHATENOU

# Plan de la présentation

- Propriétés d'usage des revêtements
- Qu'est ce que l'adhérence d'un revêtement ?
- Comment la caractériser ?
- Exemple de restitution
- Document de référence
- La prédiction en laboratoire

# Propriétés d'usage des revêtements

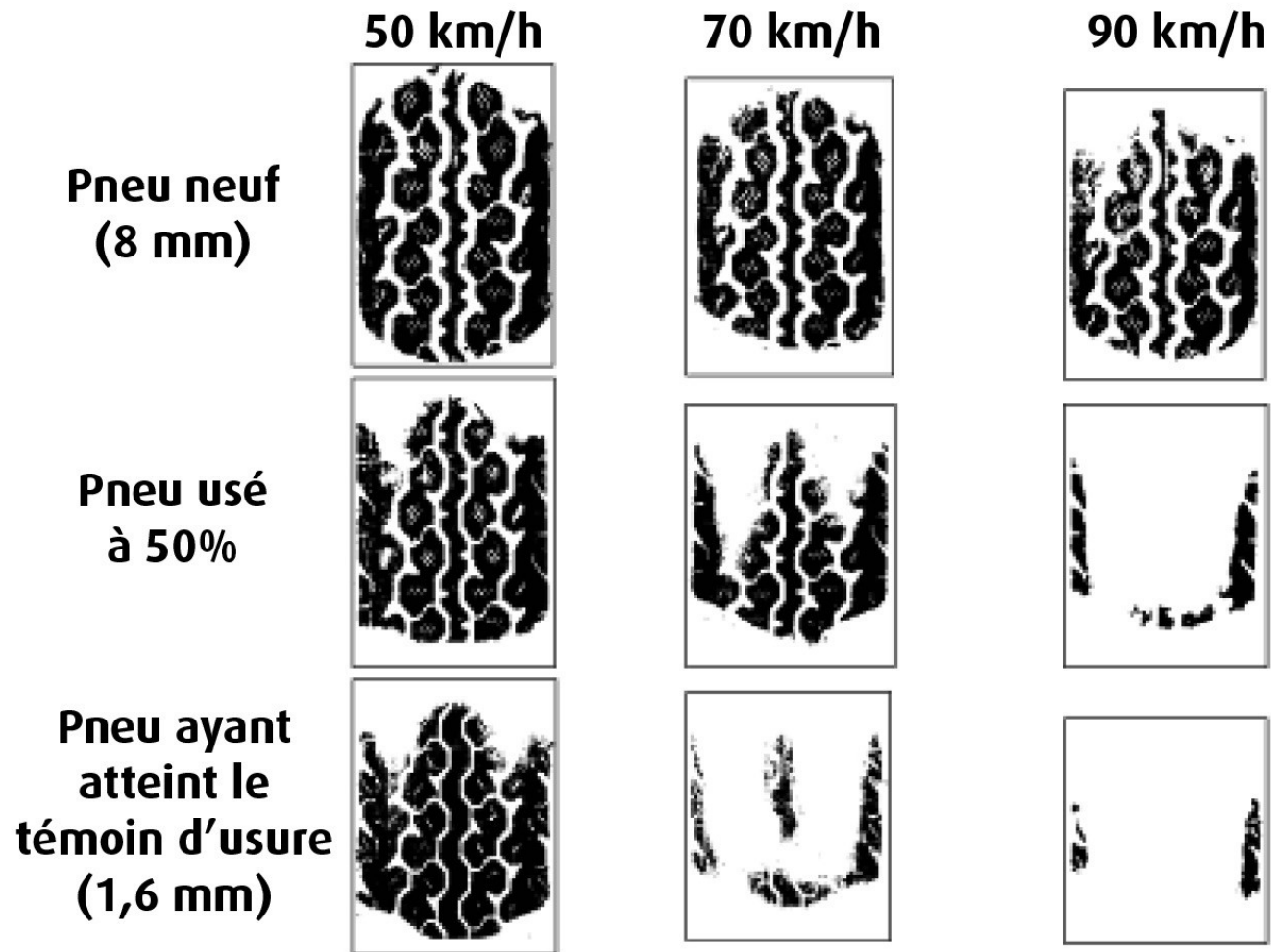
## Qu'est ce que l'adhérence d'un revêtement ?

# Propriété d'usage des revêtements

Assurer la **SECURITÉ** du trafic dans de bonnes conditions de **CONFORT**, en **PROTÉGEANT** les assises de chaussée et le sol support :

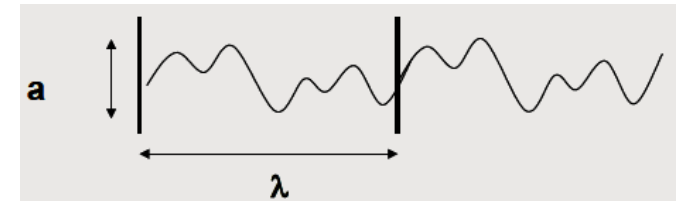
- **Sécurité** : stabilité du véhicule, distances de freinage, visibilité
- **Confort** : surface « roulante », peu bruyante et peu résistance au roulement
- **Protection du support** : infiltration d'eau

# Sécurité : contact pneu-chaussée mouillée



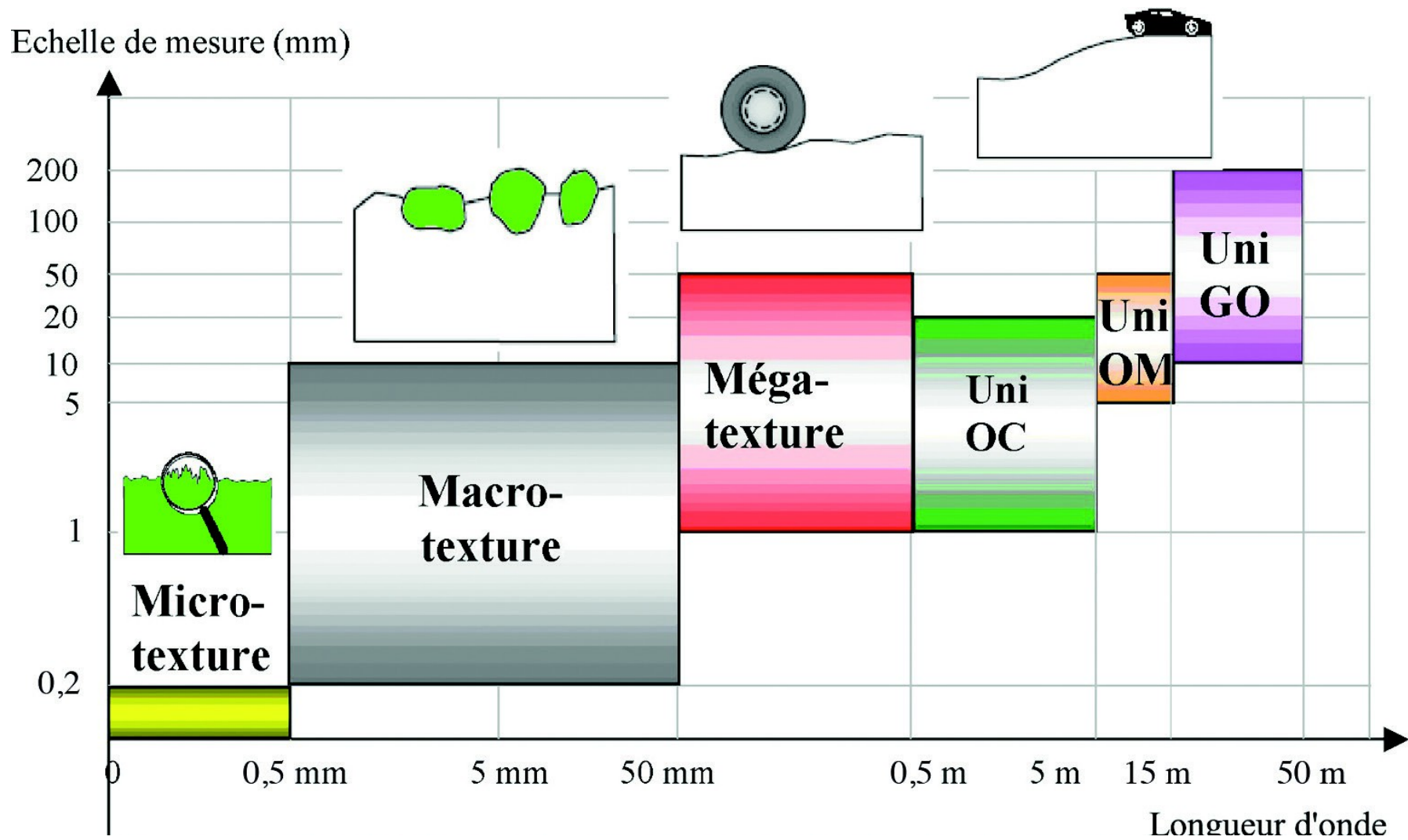
# La texture des revêtements

Le profil routier: une amplitude «  $a$  »  
et une longueur d'ondes «  $\lambda$  » :



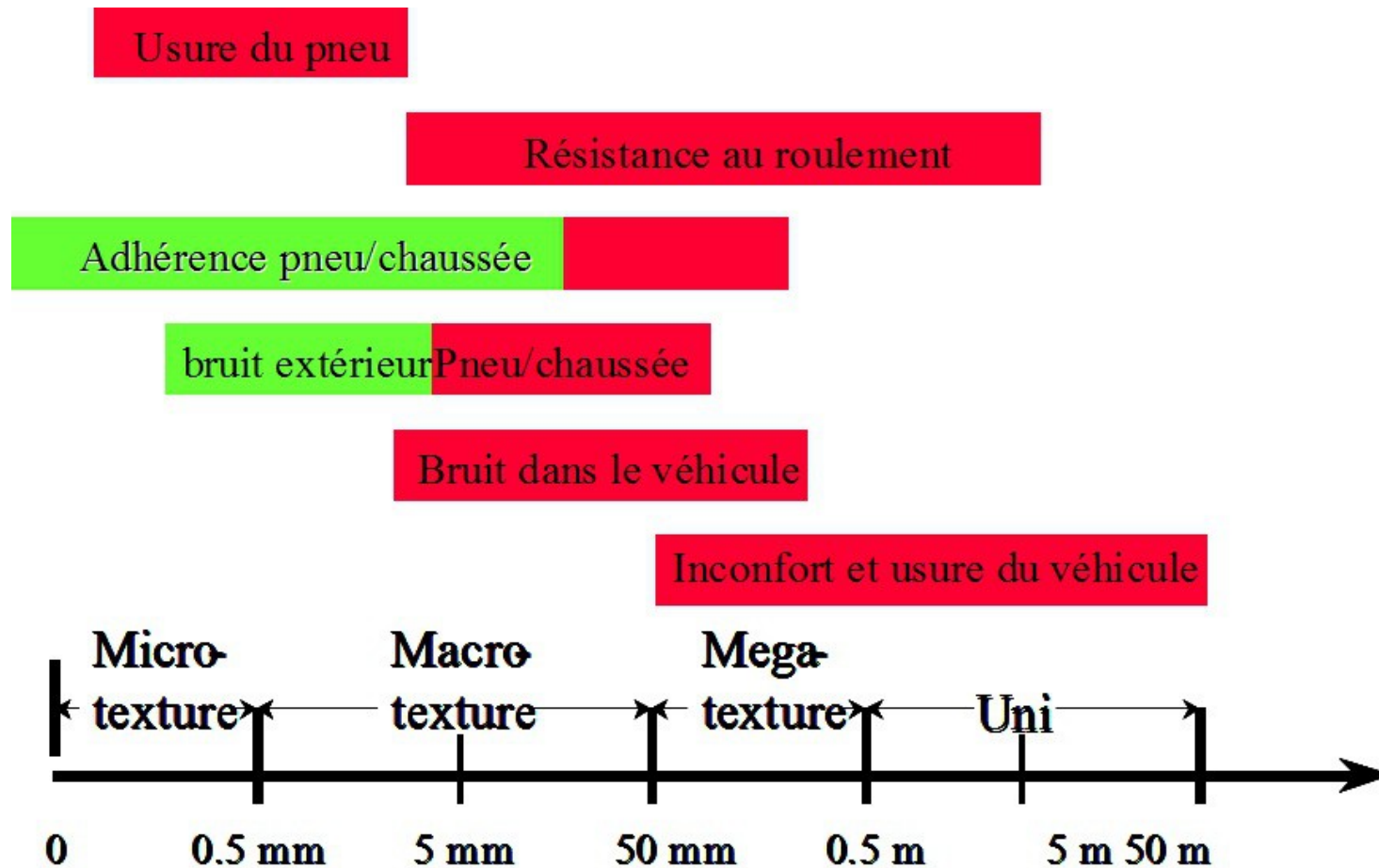
Facteurs influents :

- Formulation de l'enrobé et granulométrie
- Mise en oeuvre (type compactage, etc.)
- Structure de chaussée
- Age, trafic, géométrie de la route



Source : Guide L'adhérence des chaussées (IDRRIM - Cerema)

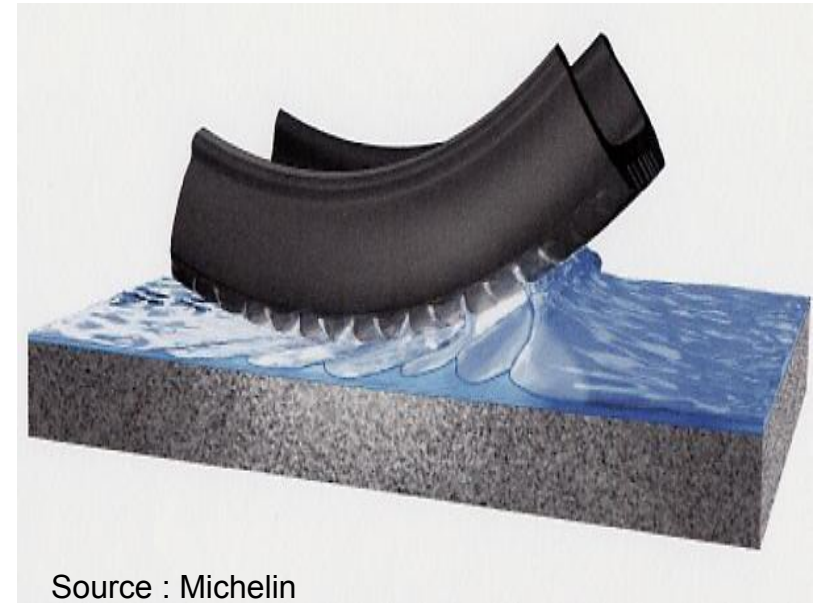
# Le rôle des échelles de texture





# Le phénomène d'adhérence

Capacité à mobiliser les forces de contact pneu/chaussée sous l'effet des sollicitations engendrées par la conduite du véhicule, même en présence d'eau



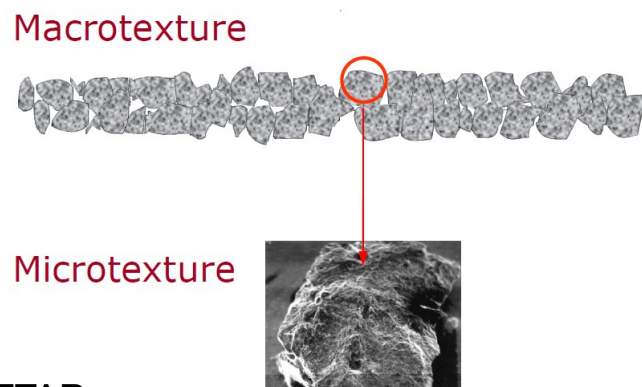
Objectifs:

- Freiner le plus court possible (adhérence longitudinale, décélération/accélération) ⇔ **CFL**
- Conserver un pouvoir directeur / sa trajectoire (adhérence transversale, braquage) ⇔ **CFT**

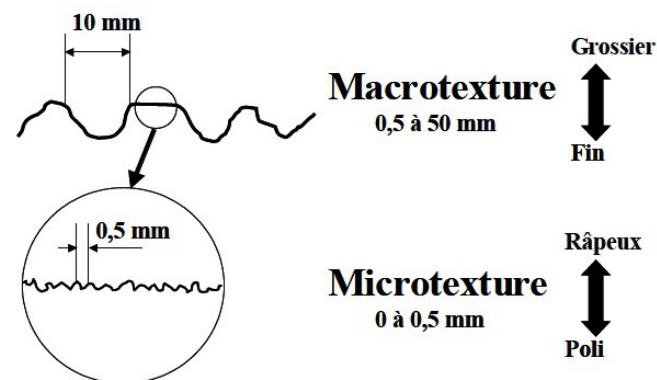
# Relation avec la chaussée

Deux facteurs principaux :

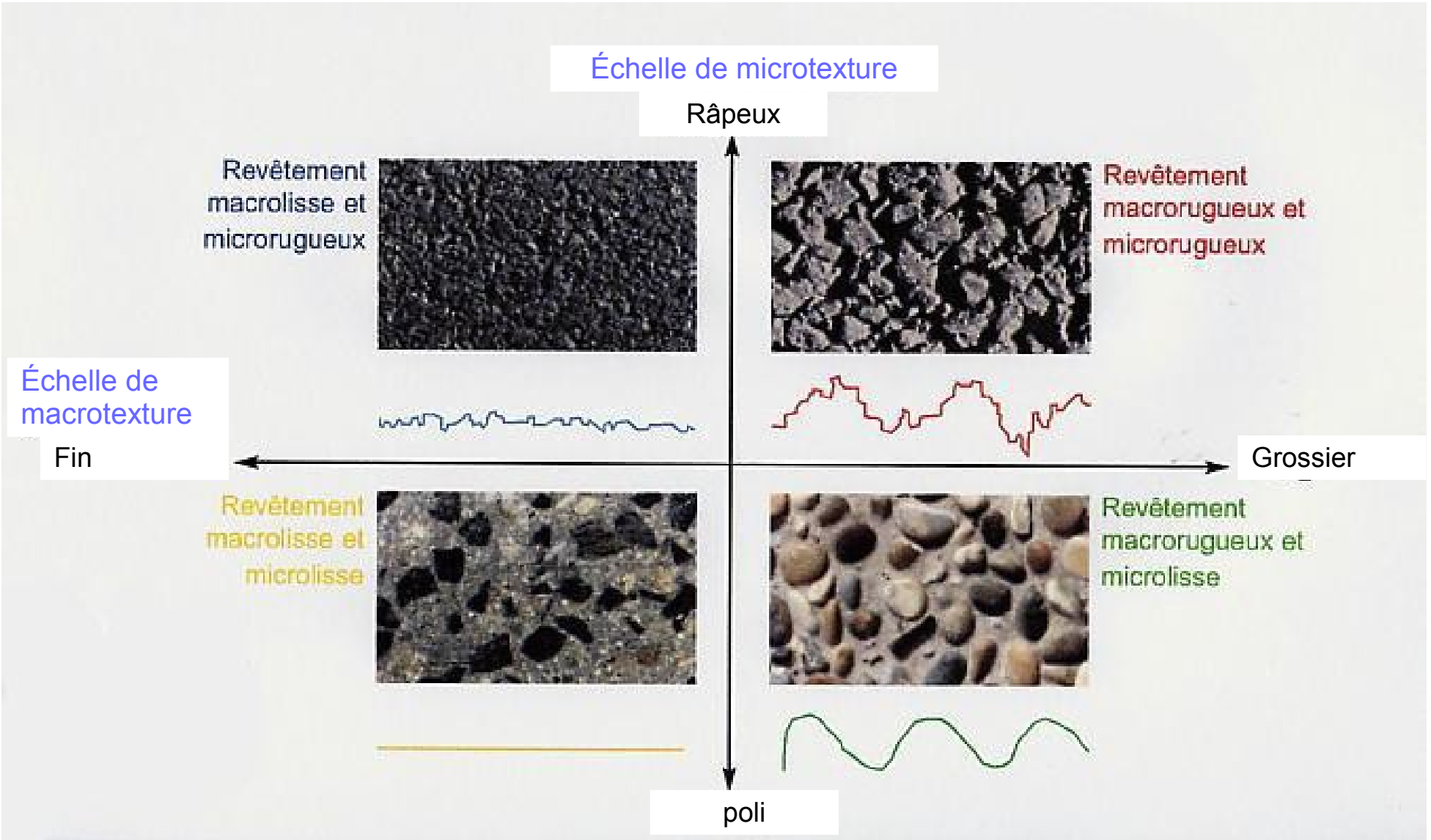
- Macrotexture
  - Évacuation du film d'eau (en particulier à haute vitesse)
- Microtexture
  - Permet l'indentation de la gomme du pneumatique et génère les forces de contact pneu/chaussée



Source : IFSTTAR



Source : Cerema Centre-Est



# Facteurs d'influence

## Choix de la formulation

- Taille des granulats ( $D_{max}$ ) → macrotexture
- % gravillons → macrotexture
- % éléments fins (sable 0/2) → microtexture

## Choix des constituants

- PSV et nature minéralogique des granulats (résistance polissage) → microtexture
- Angularité des granulats (points contact) → microtexture
- Nature du liant (vieillissement)

## Mise en œuvre

- Compactage au cylindre à tendance à « coucher » les granulats par exemple...

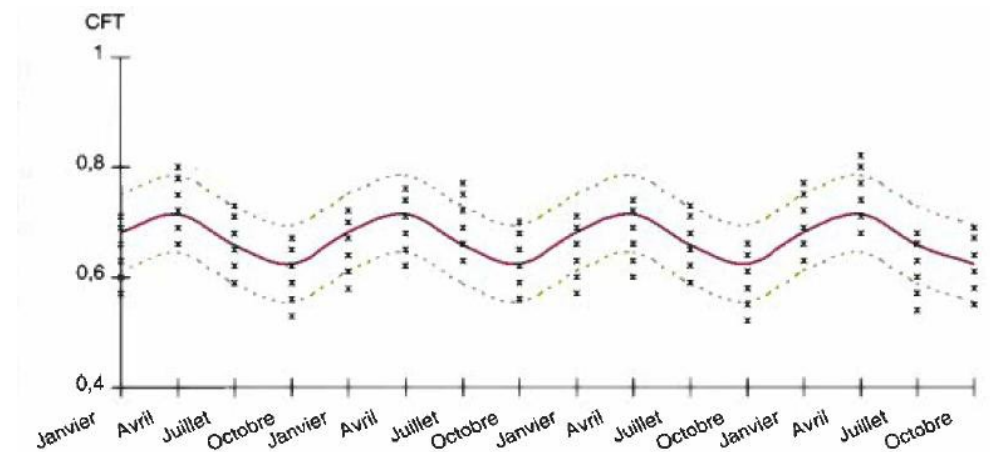
# Facteurs d'influence

## Géométrie du site

- Faible dévers ou nul, ornièrage → accumulation d'eau
- Mégatexture, uni (PO) → délestage de roue, ↗ distances arrêt
- Pentes, virages → sollicitation forte sous trafic (cisaillement)

## Variations saisonnières

- Hiver/ printemps: lessivage, pluies acides, micro-fragmentations, départs de gravillons
- Été/ automne: abrasion sous l'effet des poussières, polluants



Source : BLPC n°255

# Comment caractériser l'adhérence ?

# Caractérisation de l'adhérence

## Macrotecture

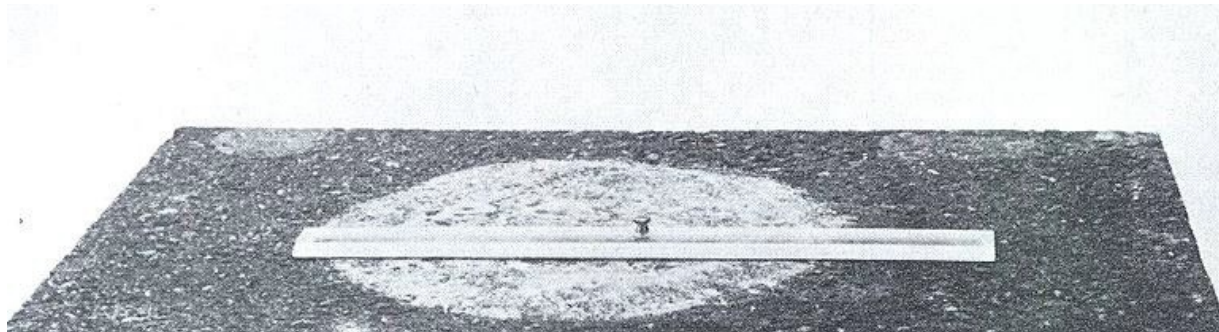
- l'essai à la « tâche » (PMT)
- le RUGO 2 (PMP / PTE)

## Microtexture

- Pendule SRT
- ADHERA (CFL)
- SCRIM (CFT)
- GRIPTESTER (GN)

# Caractérisation de la macrotexture

L'essai à la « tâche » (PMT) (NF EN 13036-1)

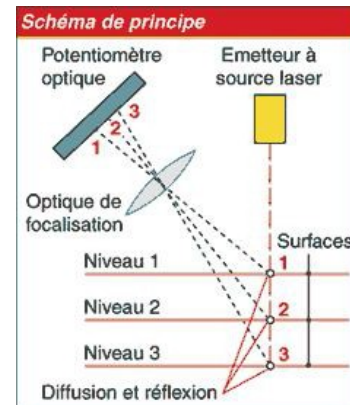


- Mesure **statique**, méthode **volumétrique**
- Profondeur moyenne de Texture (PMT)
- Mesure 4 tâches par lot et 4 diamètres par tâche
  - $PMT = 4V / \pi D^2$  (en mm) avec  $V = 25 \text{ cm}^3$



# Caractérisation de la macrotexture

## Le RUGO 2 (PMP) (NF EN ISO 13473-1)



- Mesure **dynamique**, méthode **profilométrique**
- Valeurs de PMP du même ordre de grandeur que PMT  
→ Détermination d'une PTE = 1,1 PMP  
(relation informative, norme, PTE = 0,8 PMP + 0,2)

# Caractérisation de la microtexture

## Le pendule SRT (NF EN 13036-4)



- Mesure ponctuelle d'un CFL, avec une vitesse du patin de l'ordre de 12km/h

# Caractérisation de la microtexture

Le GRIPTESTER (XP CEN TS 15901-7 et NF P98-220-2)



- Mesure en continu d'un CFL,
  - avec un pas de 1 m
  - une vitesse d'avancement de 30 km/h environ

# Caractérisation de la microtexture

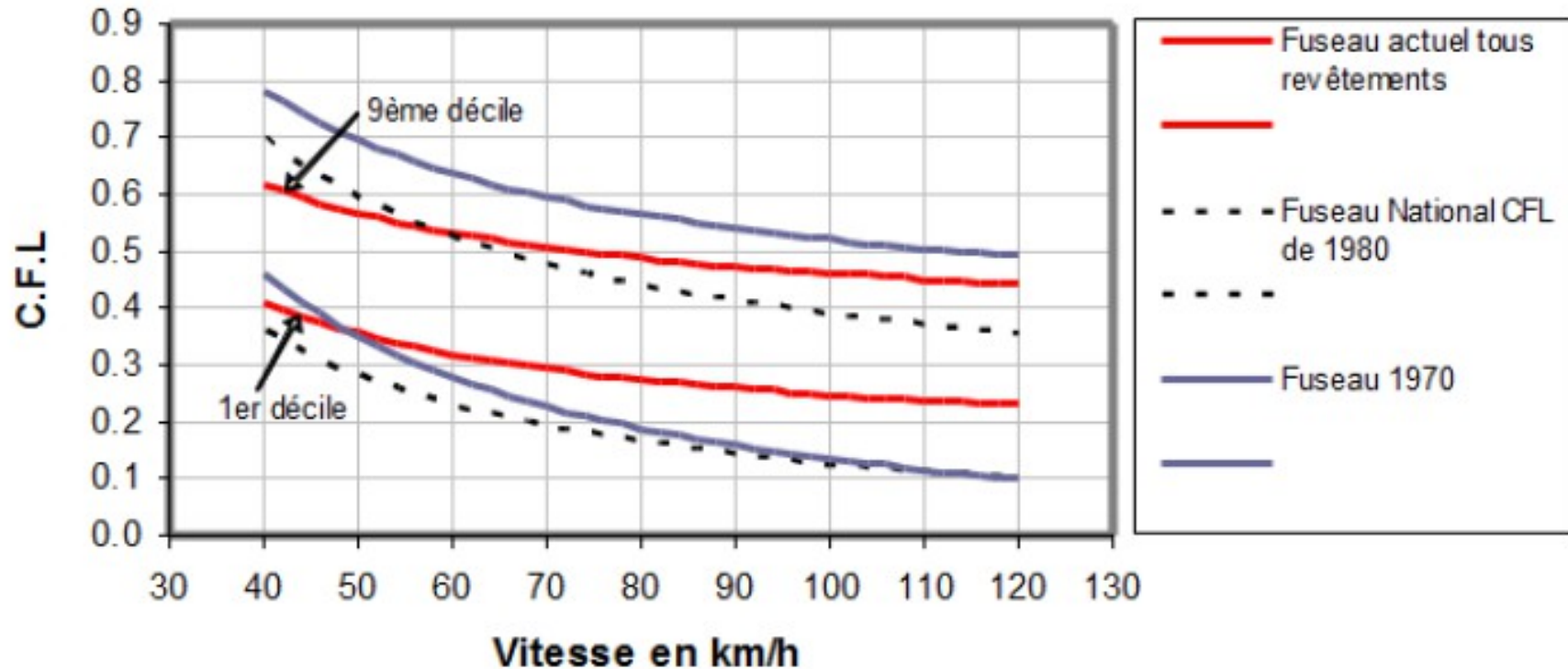
## L'ADHERA (XP CEN TS 15901-3)



Mesure ponctuel ou semi-continu d'un CFL, roue bloquée

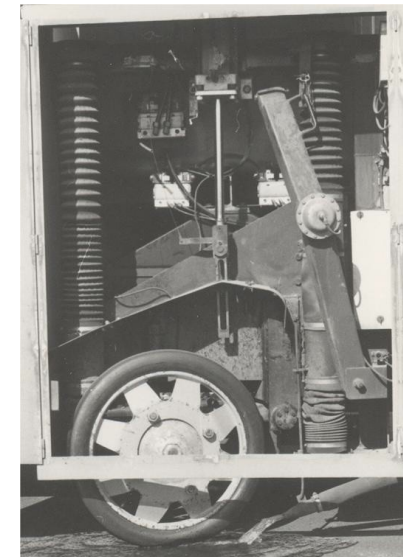
- avec un pas de 20 m à 25 m
- une vitesse de 40 km/h à 110 km/h
- Base CARAT

# Exemple de fuseau CARAT



# Caractérisation de la microtexture

## LE SCRIM (CEN TS 15901-6)



Mesure en continu d'un CFT :

- avec un pas de 10 m
- une vitesse de 60 km/h

# Domaine d'emploi des appareils

|            | Géométrie          |         | Sensibilité à la vitesse d'essai (km/h) | Type de mesure |          | Zones d'intervention |              | Domaines d'emploi |                    |                                    |
|------------|--------------------|---------|---|----------------|----------|----------------------|--------------|-------------------|--------------------|------------------------------------|
|            | Alignements droits | Courbes |   | Ponctuelle     | Continue | Urbain               | Inter-urbain | Suivi du réseau   | Études de sécurité | Réception des couches de roulement |
| ADHERA     | X                  |         | X                                       | X              | X        | X                    | X            | X                 | X                  | X                                  |
| GRIPTESTER | X                  | X       |   |                | X        | X                    | X            | X                 | X                  | X                                  |
| SCRIM      | X                  | X       | X                                       |                | X        | X                    | X            | X                 | X                  | X                                  |
| SRT        | X                  | X       |   | X              |          | X                    | X            |                   | X                  | X                                  |

X: utilisation recommandée

X: utilisation possible sous certaines conditions

# Exemple de restitution



# PV d'essais (SCRIM - Rugo)



Département Laboratoire de Lyon  
 Groupe SAGRI - unité Adhérence  
 25 Avenue François Mitterrand  
 CS 92883  
 69674 Bron Cedex  
 Tél. 04 72 14 33 20  
 Fax. 04 72 14 33 41

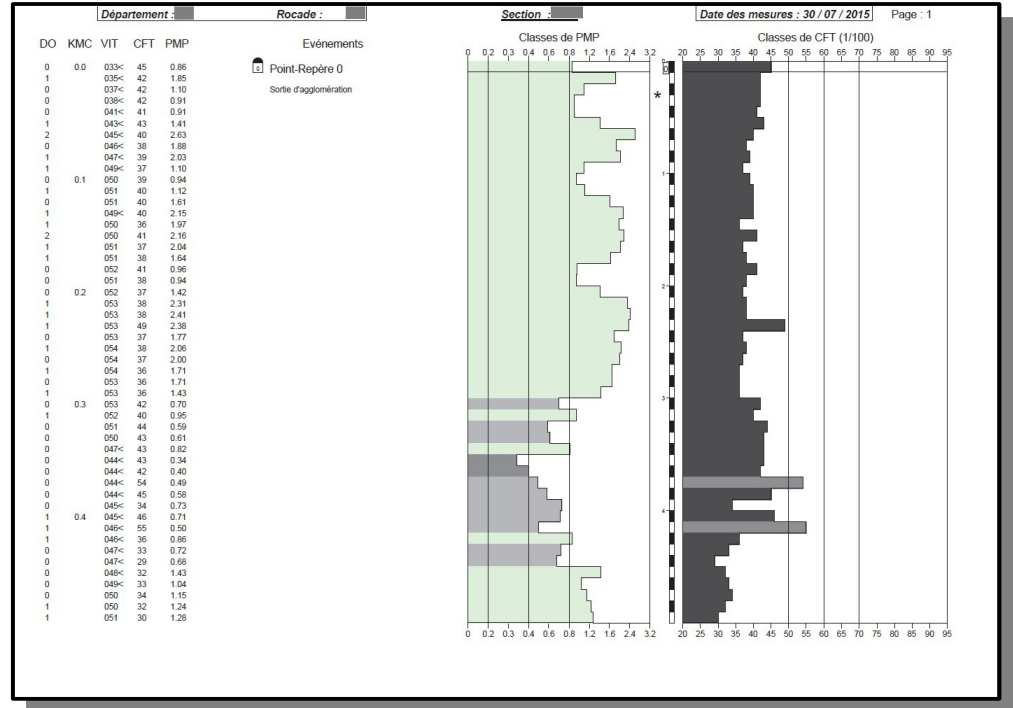
Exploitation : SCRIM  
 Client : CG  
 Dossier : GI

Itinéraire :   
 Date des mesures : 30 / 07 / 2015  
 Département :   
 Rocade :   
 PR Départ : 000  
 PR Arrivée : 002  
 Sens des mesures : Sens des PR croissants  
 Voie testée (1) : 1  
 Situation des mesures : Rase campagne  
 Pas des mesures : 10 mètres  
 Numéro de section : 0292 0 20  
 Corrélation : PTE = 1.00PMP + 0.00

Le responsable d'essais  
 C. CLAUDE

Légende : Valeur de PMP ———  
 Valeur de CFT ——— Vitesse inférieure à vitesse seuil < ——— Valeur annulée -

(1) : numérotation de 1 à 9 de droite à gauche dans le sens de circulation. 0=V.S.P.L. U=Bande d'arrêt d'urgence



# Rapport d'analyse

## 5.5 - Analyse détaillée des secteurs en amont de [REDACTED]

Des mesures ont été effectuées sur la [REDACTED] dans les zones situées en amont du secteur [REDACTED]. Elles ont été réalisées :

- sur les bandes roulement droites et gauches,
- dans chaque sens de circulation,

Le SCRIM, poids-lourd de 19 tonnes, a eu des difficultés à maintenir la vitesse minimum de 50km/h pour effectuer les mesures de microtexture, soit en raison des rampes importantes, soit en raison du tracé en plan de l'itinéraire. Les sections sur lesquelles la vitesse minimale n'a pu être maintenue lors de la réalisation des mesures de microtexture ainsi que la liste de section concernées par une mesure de macrotexture présentant un Drop-Out trop important sont listées en Annexe A. Elles n'ont pas été prises en compte dans le cadre de l'analyse.

### 5.5.1 - Sens des PR croissants, sens [REDACTED]

L'analyse est réalisée du PR [REDACTED] jusqu'à [REDACTED] sur une distance de [REDACTED] m.

Trois séries de mesures sont disponibles :

- 2 sur la bande de roulement droite,
- 1 sur la bande de roulement gauche.

Il est précisé que [REDACTED]

Concernant les résultats, quelle que soit la série de mesures considérée, il est relevé un niveau global de microtexture [REDACTED] et un niveau global de macrotexture [REDACTED].

Les valeurs moyennes et écarts types observés sont les suivants :

|                    | Passage 1<br>Bande de roulement droite | Passage 2<br>Bande de roulement droite | Passage 3<br>Bande de roulement gauche |
|--------------------|--|--|--|
| CFT – niveau moyen | [REDACTED]                             | [REDACTED]                             | [REDACTED]                             |
| CFT – écart type   | [REDACTED]                             | [REDACTED]                             | [REDACTED]                             |
| PMP – niveau moyen | [REDACTED]                             | [REDACTED]                             | [REDACTED]                             |
| PMP – écart type   | [REDACTED]                             | [REDACTED]                             | [REDACTED]                             |

les PR [REDACTED] et PR [REDACTED] [REDACTED]

Les schémas ci-dessous donnent une représentation des mesures de microtexture relevées :

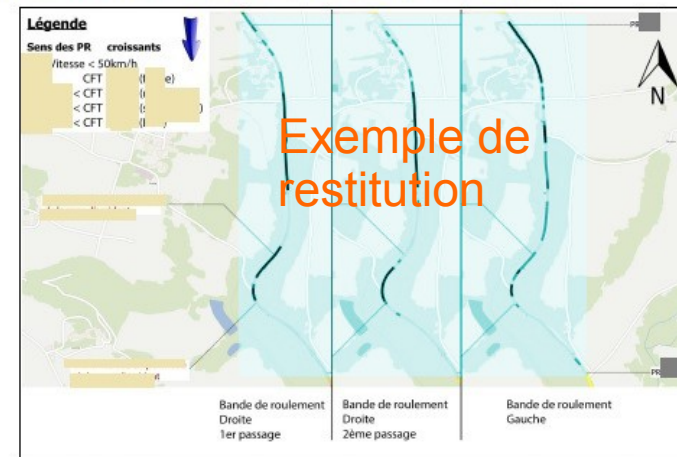


Illustration 7: Niveaux de microtexture, [REDACTED], sens croissant

Pour la macrotexture, les schémas sont les suivants :

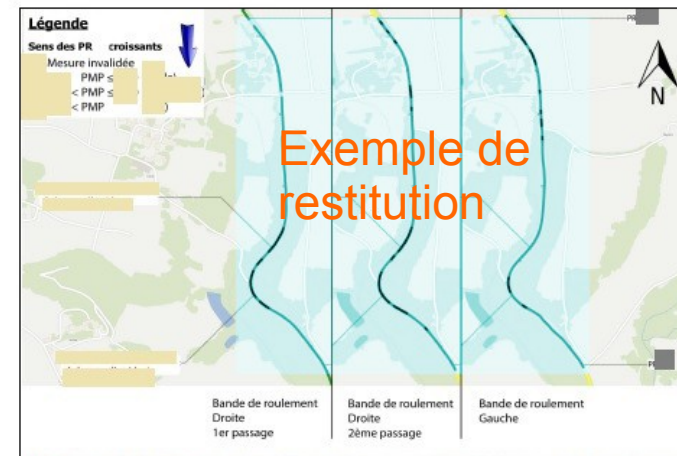
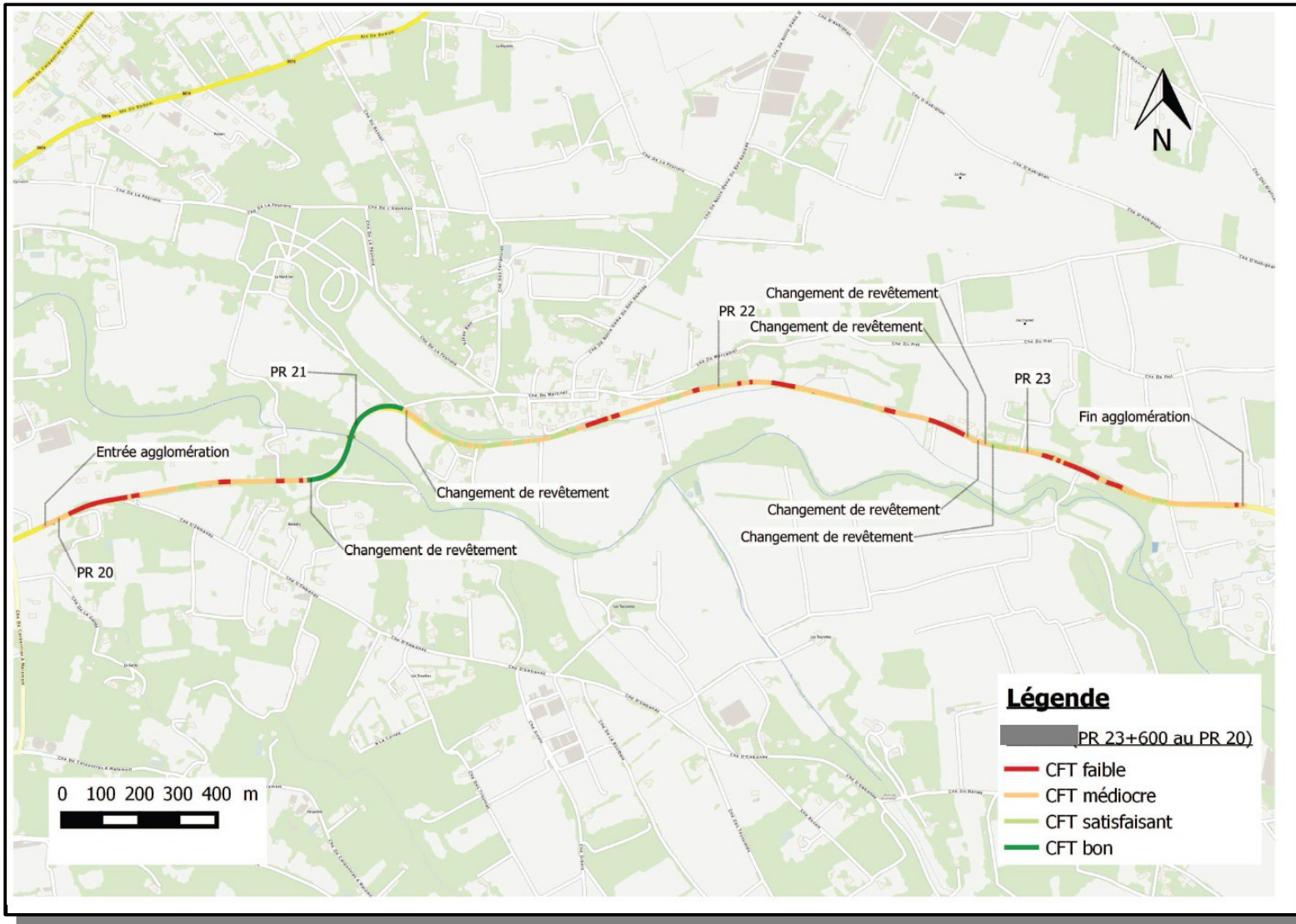


Illustration 8: Niveaux de macrotexture, [REDACTED] et sens décroissant

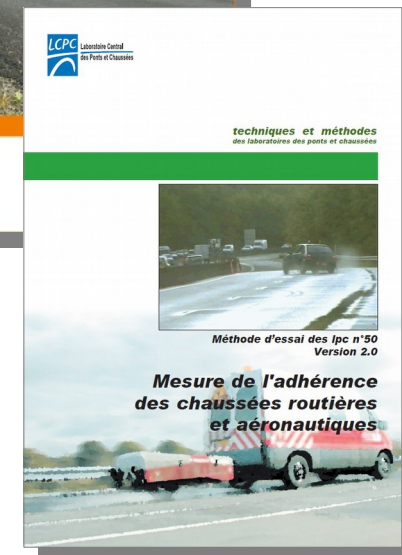
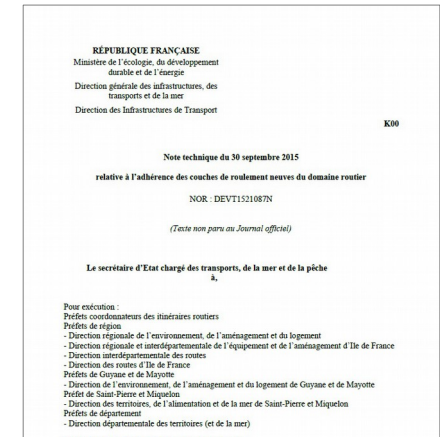
# Option restitution cartographique



# Documents de référence

# Documents de référence

- **Note technique du 30 septembre 2015** relative à l'adhérence des couches de roulement neuves du domaine routier
- **Guide technique Cerema-IDRRIM** sur l'adhérence des chaussées, Etat de l'art et recommandations, octobre 2015
- **Méthode d'Essai n° 50**, mesure de l'adhérence des chaussées routières et aéronautiques.



# Documents de référence

- NF EN ISO 13473-1 Caractérisation de la texture d'un revêtement de chaussée à partir de relevés de profils - Partie 1 : détermination de la profondeur moyenne de la texture
- NF EN 13036-1 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 tâche
- NF P 98-220 : Essais relatifs aux chaussées. Essais liés à l'adhérence,
- XP CEN/TS 15901-3 : Caractéristiques de surface des routes et aéroports - Partie 3 : mode opératoire de détermination de l'adhérence d'un revêtement de chaussée à l'aide d'un dispositif à frottement longitudinal contrôlé (CFLA) : l'ADHERA
- NF P 98-220-3: Partie 3 : Méthode permettant de mesurer le coefficient de frottement transversal entre un pneumatique de véhicule et la chaussée (adhérence transversale),
- NF P 98-220-4 : Partie 4 : Méthode permettant d'obtenir un coefficient de frottement transversal avec un appareil SCRIM,
- XP CEN/TS 15901-6 : 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
- NF P98-216 - Essais relatifs aux chaussées. Détermination de la macrotexture,
- NF EN 13036-1- Partie 1 : Mesure de la profondeur de la macrotexture-Essai volumétrique à la tâche (billes de verre),
- NF EN 13473-1-Partie 1 :Détermination de la profondeur moyenne des profils de surface,

**Note technique du 30 septembre 2015** relative à l'adhérence  
des couches de roulement neuves du domaine routier

# Réception des couches de roulement neuves

- Microtexture: pas de recommandations sauf pour les marquages (ainsi que les pavés et pierres naturelles, ...)

## **5 – Spécifications**

### **5-1 : Microtexture**

Les conditions à remplir vis-à-vis de la microtexture sont réputées 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.



# Macrotexture : modalité du contrôle

- La méthode volumétrique :

Cette méthode consiste en une mesure stationnaire ponctuelle utilisant l'essai à la tâche aux billes de verre (norme NF EN 13036-1) : le résultat de cet essai donne une profondeur moyenne de texture (PMT), 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 sur un même profil (la mesure en quinconce est à éviter). Pour chaque lot de contrôle, on calcule la moyenne des valeurs de PMT mesurées dans chacune des deux lignes de mesure.

– *Pour un lot < 500 m le pas de mesure est de 20 m.*

– *Pour un lot  $\geq 500$  m le pas de mesure est adapté afin d'assurer la représentativité du résultat avec un pas maximum recommandé de 40 m. En cas d'une valeur élémentaire hors spécifications, on revient à un pas de mesure tous les 20 m sur une zone comprise entre deux valeurs élémentaires respectant les spécifications et incluant les points hors spécifications.*

- La méthode profilométrique :

Cette méthode consiste en une mesure dynamique continue du profil (EN ISO 13473-1) : le résultat de cet essai donne une profondeur moyenne de profil (PMP) qui est recalée par rapport à celui de l'essai de référence (détermination d'une PTE). La PTE (profondeur de texture équivalente) peut être estimée en utilisant la relation  $PTE = 1,1 \times PMP$ .

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.

# Réception des couches de roulement neuves

- Macrotexture: les valeurs spécifiées sont fonctions de la vitesse maximum autorisée, du type d'itinéraire et de la configuration du site.

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 inférieure à la valeur moyenne spécifiée  $PMT_{spé}$*
2. *si deux valeurs élémentaires de PMT consécutives situées sur la même ligne de mesure ou si deux valeurs élémentaires de PMT situées sur le même profil en travers des deux lignes de mesure, sont inférieures à la valeur minimale spécifiée  $PMT_{min}$ .*

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 contrôles.

| Vitesse autorisée <sup>(8)</sup> (km/h) | Tracé en plan Virages                        | Profil en long Pentés <sup>(6)</sup>         | PMT <sub>spé</sub>              | PMT <sub>min</sub> |
|---|--|--|---------------------------------|--------------------|
| $V \leq 50$                             | 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            |

Une attention particulière doit être portée aux cas de différentiel d'adhérence transversal ou longitudinal entre deux sections consécutives, deux demi-voies ou deux voies parallèles, qui pourraient surprendre l'utilisateur.

#### 5-4 : Points singuliers

Il est difficile de dresser une liste exhaustive des points singuliers susceptibles d'être rencontrés.

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,
- sections autoroutières ayant des virages non déversés de rayon inférieur à 1000 m,
- sections autoroutières ayant des virages déversés de rayon inférieur à 600 m,
- zones de ralentissement en approche d'intersections, de feux tricolores, de giratoires, ou d'environnement aggloméré,
- giratoires,
- zones de transition telles que dépassement, rabattement, changement du nombre de voies de circulation,
- approche de gare de péage,
- zones d'inversion de dévers, zones à pentes résultantes très faibles., en particulier sur les itinéraires rapides,
- 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 qui l'entoure. 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....

## Mais aussi :

- Couches de roulement provisoires
- Revêtements à faible granularité
- Revêtement contenant des agrégats d'enrobés
- Clauses contractuelles,
- Etc.

# La prédiction en laboratoire

Machine Wehner et Schulze

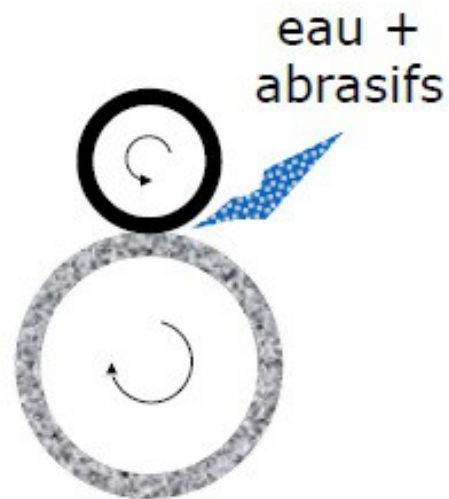


# Essais normalisés

## PSV (Polished Stone Value)



Echantillon

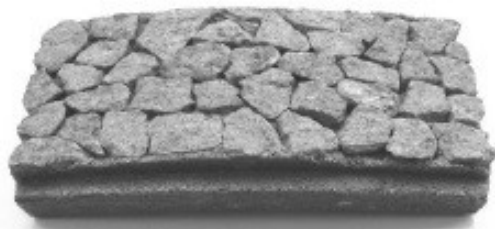




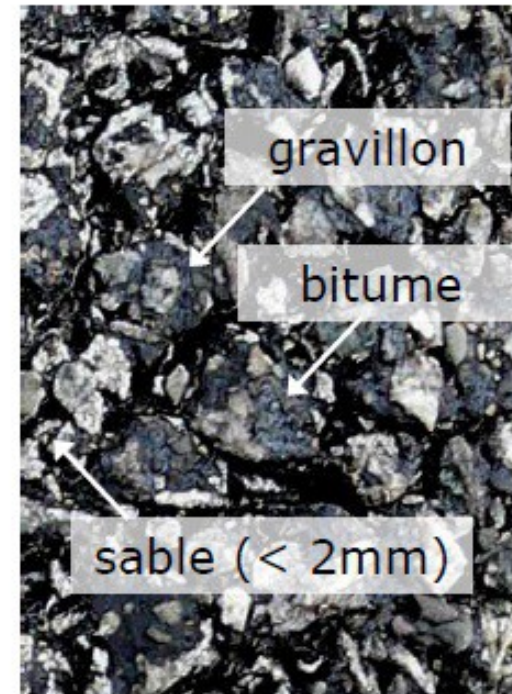


# Granulats vs Enrobé

Nécessité d'un essai plus représentatif



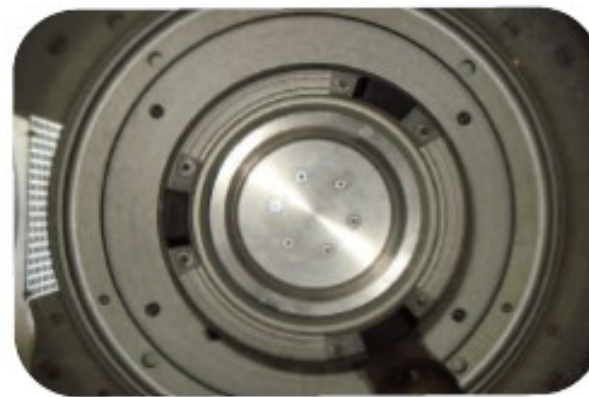
?



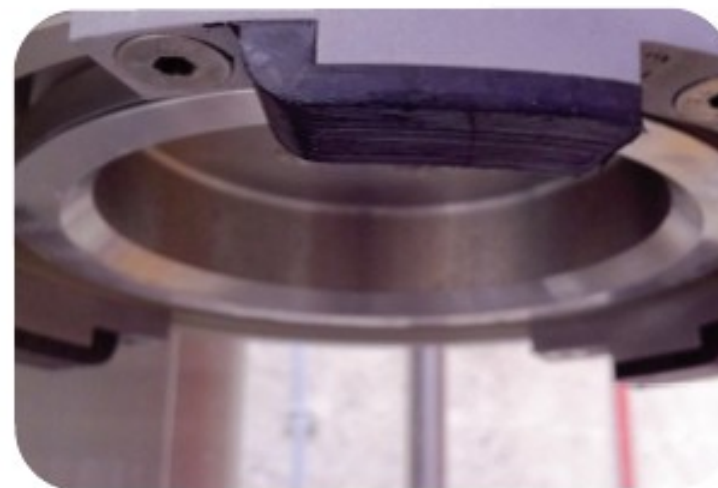
# La machine Wehner & Schulze



**Vue d'ensemble**



**Tête de mesure de frottement**

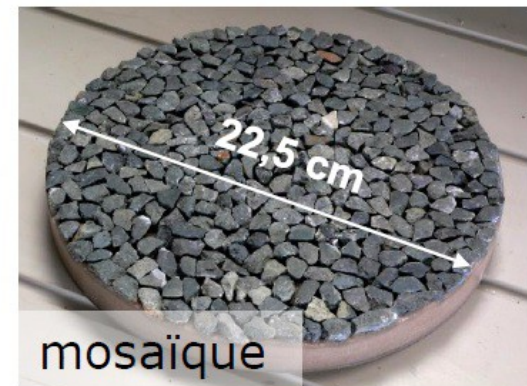
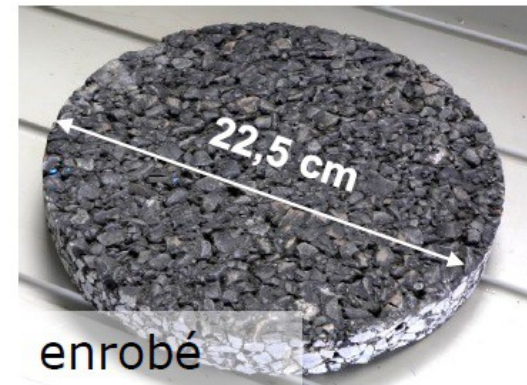


**Patins de mesure**



# Wehner/Schulze

## Echantillons



# Exemple de restitution

**Cerema**  
Division territoriale Centre-Est

Département  
Laboratoire  
de Lyon

Unité: ASERA-12

N° d'Affaire: [REDACTED]    Objet: Mesures Wehner et Schulze [REDACTED]

Rapport d'essai Wehner & Schulze    N° [REDACTED] 2015

Essai effectué d'après la norme pr EN 12697-49:2014

Provenance: Béton    Numéro des patins utilisés: F71R (1,2,3)  
 N° de l'éprouvette: [REDACTED]  
 Dimension éprouvette: 225 mm  
 Éprouvette reçue le: 16/10/2015    Lieu de l'essai: BRON  
 Date de l'essai: 26 & 27/10/2015

Résultats d'essai

| éprouvette 1       |             | éprouvette 2       |             |
|--------------------|-------------|--------------------|-------------|
| Cycle de polissage | $\mu_{FAP}$ | Cycle de polissage | $\mu_{FAP}$ |
| 0 cycle            | 0,370       | 0 cycle            | 0,358       |
| 5000 Cycles        | 0,466       | 5000 Cycles        | 0,419       |
| 10000 Cycles       | 0,464       | 10000 Cycles       | 0,420       |
| 15000 Cycles       | 0,452       | 15000 Cycles       | 0,419       |
| 90000 Cycles       | 0,381       | 90000 Cycles       | 0,364       |
| 180000 Cycles      | 0,352       | 180000 Cycles      | 0,331       |

| Moyenne $\mu_{FAP}$ |             |
|---------------------|-------------|
| Cycle de polissage  | $\mu_{FAP}$ |
| 0 cycles            | 0,364       |
| 5000 Cycles         | 0,442       |
| 10000 Cycles        | 0,442       |
| 15000 Cycles        | 0,435       |
| 90000 Cycles        | 0,372       |
| 180000 Cycles       | 0,341       |

Variation de  $\mu_{FAP}$  en fonction du polissage

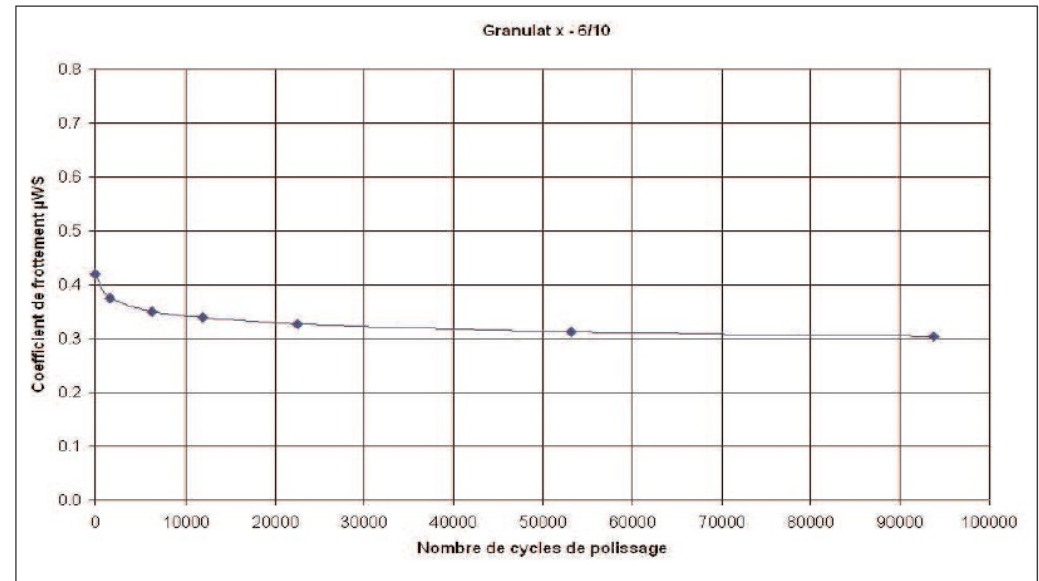
| Nbr de cycles | $\mu_{FAP}$ |
|---------------|-------------|
| 0 cycles      | 0,370       |
| 5000 Cycles   | 0,466       |
| 10000 Cycles  | 0,464       |
| 15000 Cycles  | 0,452       |
| 90000 Cycles  | 0,381       |
| 180000 Cycles | 0,352       |

Destinataires: [REDACTED]

Observations:  
Perte de granulats à chaque cycles

Le Chargé d'études: Cécile CLAUDE    Lyon, le 30/10/2015

CEREMA  
Département Laboratoire de Lyon  
25, avenue François Mitterrand, 69674 Bron cedex, FRANCE  
Mail de correspondance d'essai: cecile.claude@cerema.fr  
Tél: 04 72 14 23 00



Évolution du coefficient de frottement au fur et à mesure du polissage

# Exemple d'utilisation

- **Variantes d'entreprises** : évaluer et comparer différentes formulations d'enrobé
- **Recherche** : évaluation du polissage des revêtements de sol en béton
- **Évaluation des solutions de traitement des pierres naturelles** : flammage, bouchardage, etc.  
(évaluation expérimentale en cours)



# Politiques d'entretien

# Politique d'entretien

- En matière de revêtements, un des objectifs à atteindre pour les niveaux de service porte sur l'adhérence,
- L'entretien des revêtements se traduit par 2 types d'interventions :
  - l'entretien courant (traitement curatif à réaliser dès la parution des défauts, interventions urgentes, non programmables),
  - l'entretien programmé (actions préventives liées au vieillissement et à l'usure des chaussées),

avec des enjeux financiers importants.

Dans les 2 cas, un diagnostique permet de :

- qualifier l'adhérence,
- déterminer les points singuliers (faible adhérence, variation importante d'adhérence,..) à traiter en priorité,
- justifier une demande de crédits d'entretien spécifique.

Possibilités d'intervention :

- au coup par coup (zone présentant une accidentologie marquée),
- par itinéraire et fonctionnalité dans le cadre d'un marché d'auscultation de chaussées.





# Cerema

Centre-Est



## Merci de votre participation

Contacts :

Département Laboratoire de Lyon :  
Cédric CHATENOU – 04 72 14 32 01  
[cedric.chatenoud@cerema.fr](mailto:cedric.chatenoud@cerema.fr)

Site internet : [www.centre-est.cerema.fr](http://www.centre-est.cerema.fr)