



**HAL**  
open science

## Optimisation de la méthode d'essai sur la résistance au polissage accéléré des matériaux de chaussées avec la machine Wehner et Schulze

Smail Hamlat, Paul Marsac, Olivier Boujard, Julien Bonal

► **To cite this version:**

Smail Hamlat, Paul Marsac, Olivier Boujard, Julien Bonal. Optimisation de la méthode d'essai sur la résistance au polissage accéléré des matériaux de chaussées avec la machine Wehner et Schulze. Journées Internationales Francophones de Tribologie, JIFT 2012, May 2012, France. 13p. hal-00850767

**HAL Id: hal-00850767**

**<https://hal.science/hal-00850767>**

Submitted on 8 Aug 2013

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## **Optimisation de la méthode d'essai sur la résistance au polissage accéléré des matériaux de chaussées avec la machine Wehner et Schulze**

Smail HAMLAT<sup>1</sup>, Paul MARSAC<sup>2</sup>, Olivier BOUJARD<sup>1</sup>, Julien BONAL<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Département Laboratoire et CECP d'Angers - 23, avenue de l'Amiral Chauvin  
BP 20069, 49136 Les Ponts de Cé Cédex

<sup>2</sup>Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux  
(IFSTTAR) – Groupe Matériaux  
Route de Bouaye, 44344 BOUGUENNAIS CEDEX

Contact : Smail.Hamlat@developpement-durable.gouv.fr – Tél : 02 41 79 13 25

### **Résumé :**

La résistance au polissage des granulats, utilisés en couche de roulement des chaussées, est évaluée en laboratoire à l'aide de plusieurs essais : Polished Stone Value (PSV), résistance au polissage par projection (RPA), Aggregate Abrasion Value (AAV) et l'essai Wehner et Schulze (W&S). Ce dernier, contrairement aux autres, permet de suivre dans le temps l'évolution de la dégradation de l'état de surface vis-à-vis de l'émoussement de la microtexture nécessaire à l'adhérence des pneumatiques.

Afin d'établir un protocole commun de la pratique des utilisateurs français de cet essai, nous avons étudié l'influence des différents paramètres pouvant impacter la qualité des résultats. L'objectif de cette démarche est de pouvoir comparer les résultats des différentes équipes et de mutualiser les expériences des uns et des autres.

**Mots-clé :** frottement, adhérence, polissage, texture routière, granulat, microtexture

## I- Contexte et état de l'art

Dans le contexte d'une demande croissante et prévisible de réalisation de couches de roulement résultant de l'entretien d'un réseau vieillissant et d'une demande toujours accrue de confort, les gestionnaires et les entreprises ne disposent actuellement d'aucune méthode de prévision d'évolution de l'adhérence des chaussées.

L'adhérence offerte par la couche de roulement des chaussées dépend de sa texture de surface et sa durabilité dans le temps. Cette enveloppe est formée d'un mélange de granulats de différentes tailles et d'un liant (bitume, ciment...).

Actuellement, il existe plusieurs essais de laboratoire permettant d'évaluer la résistance des granulats au polissage. Le plus connu et le plus utilisés est l'essai **PSV** « Polish Stone Value » défini par la norme NF EN 1097-8 [1]. Cet essai présente des limites, étant réalisé sur une fraction granulaire donnée (7.2 mm – 10 mm), il tend à restreindre l'initiative du concepteur au seul choix de la nature minéralogique du granulat. Il n'apporte en particulier aucun élément sur l'influence de la technique routière utilisée et les conditions de mise en œuvre. Dans la perspective d'évaluation prédictive de l'adhérence, le coefficient de frottement obtenu par l'essai PSV correspond à un état de polissage inconnu. Il ne permet pas de relier un état d'endommagement à des prévisions de trafic cumulé, c'est-à-dire un temps de service donné. Cet essai nécessite par ailleurs un temps très long pour la préparation des échantillons et pour sa mise en œuvre.

L'essai de polissage rapide des granulats par projection (**RPA**) [2] a été mis au point par M. Delalande [3] dans le but de réduire le temps de réalisation de l'essai PSV.

La machine **Wehner et Schulze**, développée par le TUB (Technical University of Berlin) dans les années soixante [4], permet de tester en plus des granulats [5], toutes surfaces routières (enrobé, béton...). Cette méthode d'essai est l'objet d'un projet de norme européenne en cours d'élaboration [6], elle est utilisée pour la simulation de l'action du trafic routier et la prédiction de l'adhérence des chaussées.

## II- Principe de fonctionnement de l'essai Wehner et Schulze

L'essai est totalement automatique, il associe un poste de polissage simulant l'action du trafic et un poste de mesure d'adhérence simulant un freinage roue bloquée en présence d'eau (Fig. 1a). Le polissage s'effectue par le roulement avec un léger glissement de cônes caoutchoutés (Fig. 1b) sur des éprouvettes circulaires de diamètre de 225 mm ou rectangulaires de dimensions 320 x 255 mm.

Un protocole commun de la pratique de cet essai est adopté par les utilisateurs français [7]. Il est orienté pour répondre aux attentes de la profession routière et il est issu, en partie, des résultats de l'étude d'optimisation des paramètres de l'essai que nous présentons dans cet article.

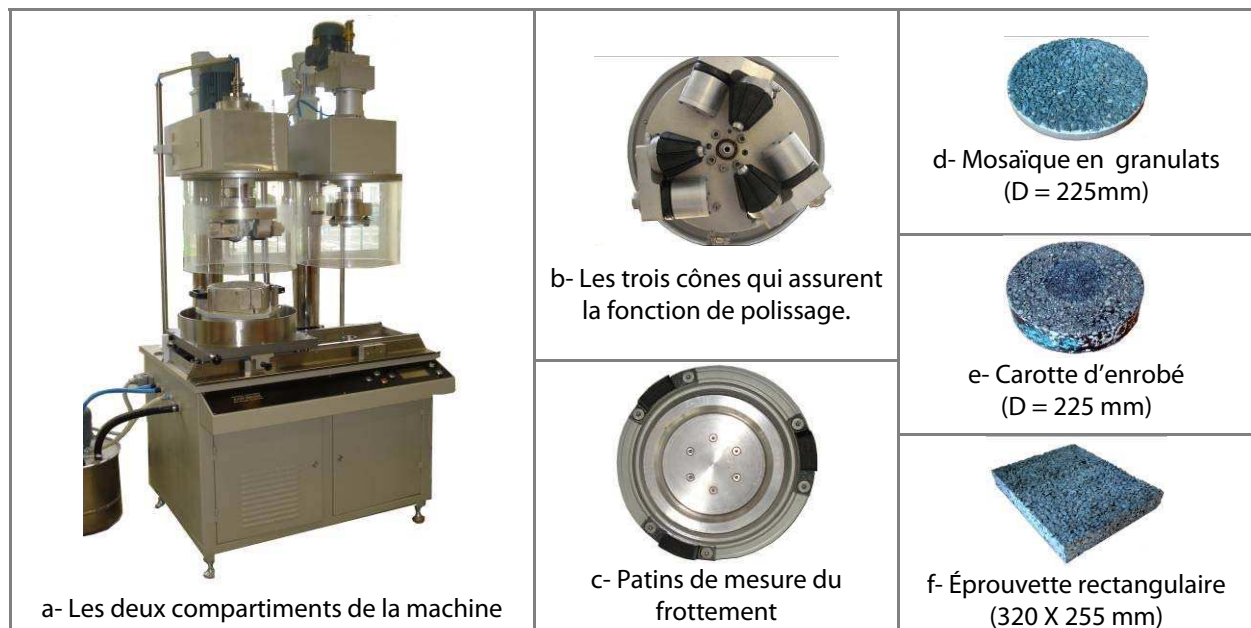


Fig. 1- Présentation de la machine Wehner et Schulze et des corps d'épreuves

### III- Optimisation des paramètres de l'essai

Nous proposons d'étudier les paramètres dont l'influence sur le frottement Wehner et Schulze est avérée ou pressentie. Les facteurs retenus sont les suivants :

- le procédé de fabrication des mosaïques de granulats qui détermine leurs arrangements en surface (manuel et par vibration) ;
- l'influence de la concentration de la solution de polissage en silice (le troisième corps) et la durée du lavage précédant la mesure ;
- la durée de rodage des cônes de polissage ;
- l'épaisseur et l'état de surface des patins de mesure de frottement ;
- le nombre de mesures à effectuer à chaque état de polissage (Fig. 2)

L'ensemble des essais de la campagne expérimentale sont réalisés avec des granulats issus de la roche de référence utilisée habituellement pour l'essai PSV. La structure homogène de cette roche permet d'obtenir un polissage stable est une bonne répétabilité sur la mesure du frottement.

#### III.1- Procédure de fabrication de corps d'épreuves

Dans cette partie nous nous attachons à fabriquer un échantillon reproduisant un contact plan-plan et un certain degré d'homogénéité de l'état de surface.

La fabrication d'une mosaïque de granulats nécessite les éléments suivants :

- moule en aluminium de diamètre interne 225 mm avec une base rectifiée ;
- table vibrante ;
- étuve ventilée ;
- résine ;
- farine de silice, eau ;
- granulats de fraction 6,3 mm - 10 mm déplatés à la grille de forme de 7,2 mm

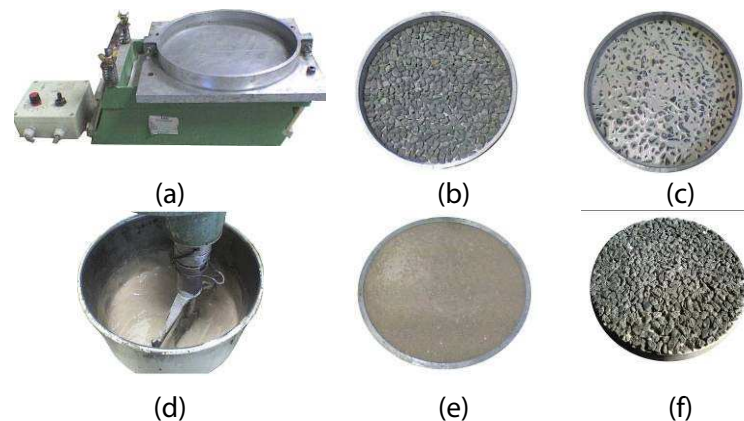
### Mode opératoire

La première étape consiste à nettoyer et enduire le moule avec un démoulant puis en fonction du choix de l'opérateur il existe deux modes de fabrication de mosaïque de gravillons : manuelle ou avec vibration.

La méthode manuelle consiste à déposer les granulats un par un, aussi près les uns des autres que possible, à l'aide d'une pince, la face la plus plane contre la base du moule. Cette méthode demande du temps et nécessite beaucoup d'expérience de l'opérateur pour choisir le granulat selon la forme adéquat et ainsi obtenir une bonne répétabilité.

La méthode par vibration consiste à installer le moule sur la table vibrante (Fig. 2a), le fixer et enclencher les vibrations pendant l'introduction des granulats. Et contrairement à la méthode manuelle, l'opérateur choisit aléatoirement les granulats pour les introduire sur le moule.

La suite du mode opératoire est la même pour les deux méthodes. Après la mise en place du monocouche de granulats en prenant soin qu'ils soient les plus jointifs possibles, on prépare une suspension de farine de silice puis on remplit le moule (Fig. 2c) qui sera conditionné dans une étuve ventilée et chauffée à 100 °C pendant une à deux heures. Après le séchage, un mélange homogène de résine et de sable fin est préparé dans une jarre de malaxeur (Fig. 2d) puis versé dans le moule refroidi en répartissant de manière homogène jusqu'au remplissage (Fig. 2e).



*Fig. 2- Processus de réalisation des mosaïques de gravillons*

Il est important d'utiliser une résine qui conserve sa forme après durcissement, l'ajout de charge (sable) aide à consolider la structure de la mosaïque. L'objectif est de s'assurer de la planéité de l'échantillon afin de reproduire un contact plan-plan entre la mosaïque est les cônes de polissage.

La reproduction d'un état de surface des mosaïques de granulats est un paramètre indispensable pour une bonne qualité de l'essai. Nous avons comparé les résultats de polissage sur les deux méthodes cités précédemment : éprouvettes fabriquées avec vibration et éprouvettes faites à la main. Les résultats illustrés sur la figure 3 montrent l'évolution de la moyenne du frottement en fonction du polissage sur cinq éprouvettes de chaque procédé.

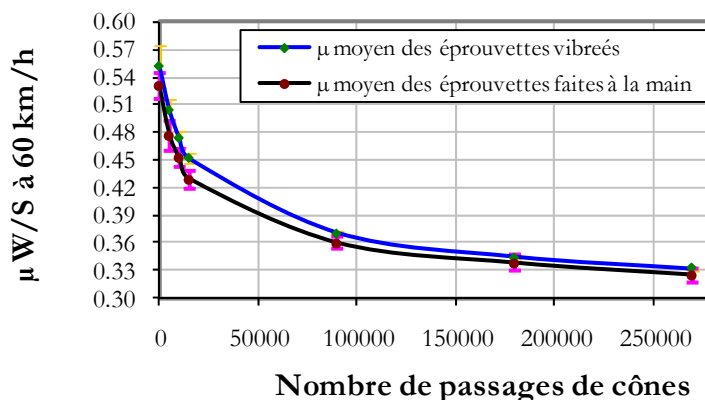


Fig. 3- Comparaison des résultats de polissage sur les deux méthodes de fabrication des mosaïques (manuelle et par vibration)

À première vue on peut constater que le polissage est plus important pour les échantillons fabriqués manuellement. Il est difficile de se prononcer sur cette différence mais l'aspect de surface obtenu avec les deux procédés n'est pas le même (Fig. 4).



a) Fabrication avec vibration



b) Fabrication manuelle

Fig. 4- Aspect de surface obtenu par les deux méthodes (manuelle et par vibration)

Cette différence joue à la fois sur le mécanisme de polissage et la mesure du frottement, on peut supposer que la réduction de l'aire réelle de contact entre les cônes et la surface de l'échantillon augmente l'intensité du polissage. Cependant, la disposition des granulats en surface sur des échantillons fabriqués par vibration (Fig. 4a) favorise la butée avec les patins de mesures ce qui augmente naturellement le coefficient de frottement. L'écart obtenu sur les mosaïques vibrées est légèrement inférieur à celui obtenu sur les mosaïques faites à la main.

L'utilisation d'un vibreur pour la fabrication des mosaïques nécessite la vigilance de l'opérateur notamment sur l'homogénéité de surface de la couronne de polissage. Généralement, une inspection visuelle est suffisante pour valider un échantillon. Toutefois, d'autres techniques existent pour quantifier cet aspect, notamment la technique par analyse d'images. Il s'agit de scanner la surface de la mosaïque des granulats en mode niveau de gris puis de binariser l'image (Fig. 5), le taux de recouvrement de surface peut être déterminé à l'aide de la relation suivante :

$$\text{Taux de recouvrement} = \frac{\text{Nombre de pixels Noir}}{\text{Nombre de pixels dans l'image}}$$

Le taux moyen de recouvrement de surface est de l'ordre de 90 %.

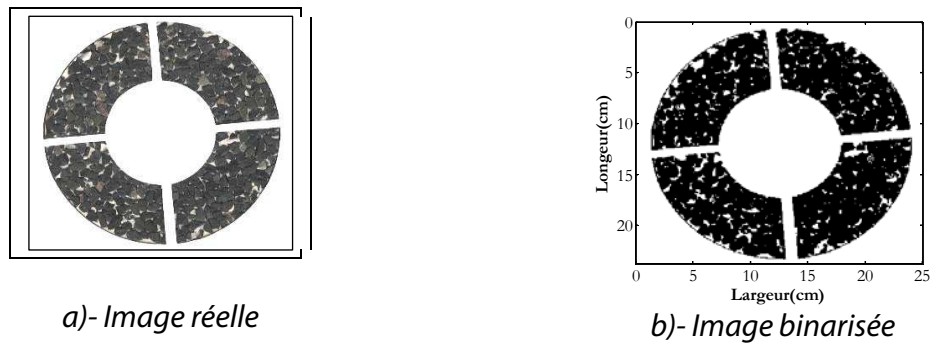


Fig. 5- Détermination du taux de recouvrement de surface par analyse d'images

Il est conseillé de scanner systématiquement la surface des plaques de mosaïque avant polissage, cette pratique permet de mieux évaluer les causes des écarts éventuels entre les résultats de mesure.

### III.2- Rodage des cônes de polissage et des patins de mesure

L'effet du polissage est simulé par le roulement des trois galets coniques en caoutchouc strié (Fig. 1b) à une vitesse de 500 tours/min, suivant une couronne sur la surface de l'échantillon. Il est renforcé par un léger glissement des galets et un apport constant d'un mélange d'eau et d'abrasif.

La charge verticale appliquée sur les cônes est de l'ordre de 392 N, la pression de contact apparente générée à l'interface avec l'échantillon est équivalente à 0,4 MPa, localement l'intensité des pressions locales dépend de la texture de l'échantillon, du degré de l'usure des cônes et de la planéité du contact (Fig. 6).

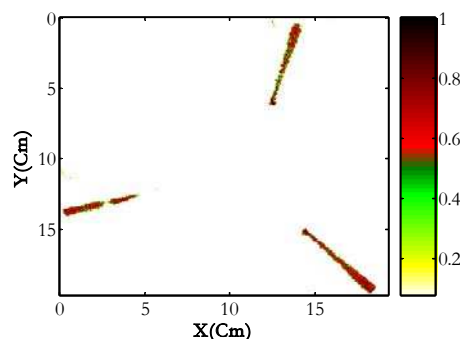


Fig. 6- Répartition des pressions locales sous les cônes

Au cours du polissage, la gomme perd de son volume par usure. Naturellement la question de rodage des cônes neufs se pose. Pour homogénéiser les pratiques sur ce point, le constructeur de la machine propose un rodage de 500000 passages.

Afin d'évaluer l'impact de ce phénomène sur la répétabilité de la mesure, nous avons réalisé les essais successifs de polissage sur cinq mosaïques de roche de référence fabriquées en mode vibratoire pour s'affranchir de l'effet opérateur. Les essais sont réalisés avec patins et cônes neufs en utilisant la procédure suivante : solution neuve à chaque essai, mesures du frottement à 0, 5000, 10 000, 15 000, 90 000, 180 000 puis 270 000 cycles.



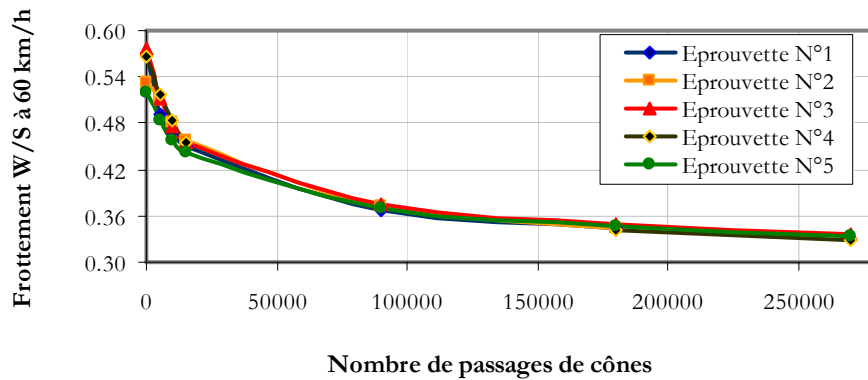


Fig.7 – Effet du rodage des cônes

Les résultats obtenus lors de cette campagne d'essais n'ont mis en évidence aucune évolution significative des résultats (Fig. 7). Pour des cônes destinés à des mesures sur des mosaïques de granulats, aucun rodage préalable n'est donc nécessaire.

Si le rodage des cônes ne semble pas nécessaire, leur durée d'utilisation peut avoir une influence sur la dynamique du polissage. En effet, au fur et à mesure de l'opération de polissage, un phénomène d'usure différentielle des cônes apparaît (Fig. 8), cette usure est due au glissement imposé aux cônes et parfois à un défaut de planéité des corps d'épreuves. Pour en limiter l'impact, le fabricant suggère le remplacement des cônes tous les 5 millions de passages.



a) - Cône neuf

b) - Cône usé

Fig.8 – Usure différentielle des cônes de polissage

### III.3- Influence de la concentration de la solution de polissage en silice et de la durée du lavage précédant la mesure

Afin d'obtenir des mesures de frottement représentatives de l'état de surface de l'échantillon testé, la procédure d'essai intègre systématiquement une phase de lavage après chaque période de polissage (avant chaque mesure). Ce lavage consiste en une rotation des cônes de polissage en contact avec la surface testée à une vitesse de 100 tours par minute (au lieu de 500 tours par minute lors des phases de polissage accéléré) en présence d'eau et sans abrasif.



Fig.9 – Dépôt de silice après la phase de polissage



Cette phase permet d'évacuer la silice présente à la surface de l'échantillon (Fig. 9), qui risquerait d'affecter la mesure. Par ailleurs cette quantité de silice peut varier en fonction de la durée de la phase de polissage précédente. C'est pourquoi nous proposons d'augmenter la durée du lavage pour les cycles longs de polissage :

- un lavage de 120 secondes est donc prescrit avant les mesures après 5 000, 10 000 et 15 000 passages de cônes ;
- puis la durée est allongée à 180 secondes pour les lavages précédents les mesures après 90 000, 180 000 et 270 000 passages de cônes (et éventuellement les mesures suivantes dans le cas d'études spécifiques).

Le lavage permet d'obtenir une surface propre en évacuant ces dépôts, cette phase fait diminuer la concentration en silice qui passe de 60 g/l (2400 g de silice diluée dans 40 l d'eau) à l'état initial à 30 g/l soit une perte de 1200 g de silice après sept mesures (Fig. 10).

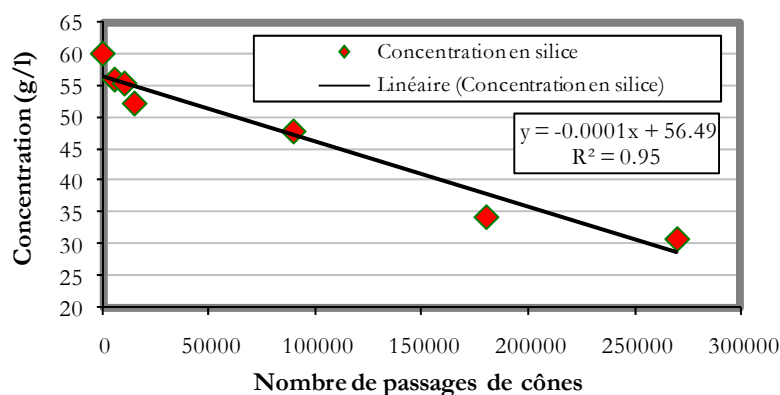
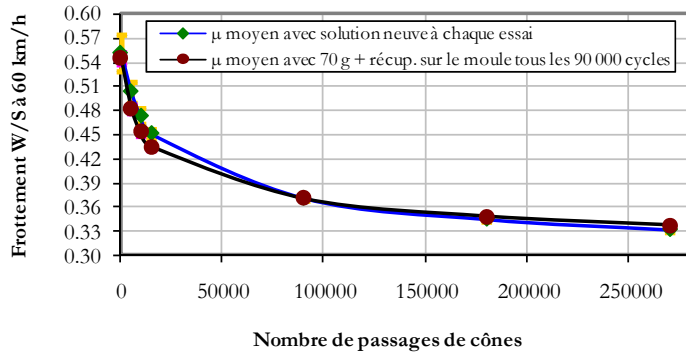


Fig.10 –Évolution de la concentration de la silice dans la solution abrasive

La silice, qui joue le rôle du troisième corps, est soumise à l'action du broyage entre les cônes et la surface de l'échantillon. Au cours d'un seul essai, la granulométrie de la silice change, l'idéal serait d'adopter le même système que celui utilisé pour le PSV qui consiste à apporter en continu la solution abrasive et de n'utiliser le troisième corps qu'une seule fois. L'adaptation d'un tel dispositif nécessiterait une intervention lourde sur la machine. Nous nous contenterons de comparer les résultats de deux procédures, la première est celle utilisée habituellement avec ajout de 70 g tous les 90 000 cycles et récupération de la silice déposée dans les différents coins du compartiment de polissage. La deuxième procédure consiste à changer la solution à chaque essai. Les résultats présentés sur la figure 11a montrent que le comportement, vis-à-vis du polissage, des échantillons réalisés avec les deux procédures est semblable notamment après 90 000 passages de cônes. Cela peut être expliqué par l'existence d'un seuil de concentration en silice pour un polissage optimum, et que ce seuil est au minimum inférieur à ceux utilisés dans les deux procédures. À cela s'adjoint l'effet permanent des grains de silice incrustés dans la gomme des cônes de polissage (Fig. 11b)



b) Incrustation des cônes par la silice

Fig.11–Effet de la concentration en silice

### III.4- Épaisseur et état de surface des patins de mesure de frottement

Le poste de caractérisation de l'état de polissage par la mesure du frottement est constitué d'une couronne munie de trois patins de gomme (Fig. 1c). Cette couronne est mise en rotation et accélérée jusqu'à atteindre une vitesse tangentielle d'environ 100 km/h au niveau des patins. Elle est alors freinée jusqu'à l'arrêt par application des patins sur la surface de l'échantillon sous un arrosage continu de 20 l/s. Le coefficient de frottement  $\mu_{WS}$  est alors mesuré pour différentes vitesses de freinage, la majeure partie des praticiens travaillant sur cet appareil choisissent le frottement correspondant à la vitesse utilisée dans la mesure de l'adhérence transversale avec le SCRIM (60 km/h).

Les patins utilisés pour la mesure de frottement sont constitués d'un support en métal de forme curviligne (de façon à définir une couronne circulaire de mesure) sur lequel est fixée une gomme en caoutchouc de 35 mm de long, 14 mm de large et 5 mm d'épaisseur (Fig.12). Tout comme pour les cônes de polissage, la dureté shore de la gomme est de  $65 \pm 3$  [9]. Afin de conserver les propriétés viscoélastiques des gommes de polissage et de mesure de frottement, les cônes et les patins doivent être conservés à une température de  $5 \pm 2$  °C et à l'abri de la lumière avant leur utilisation.

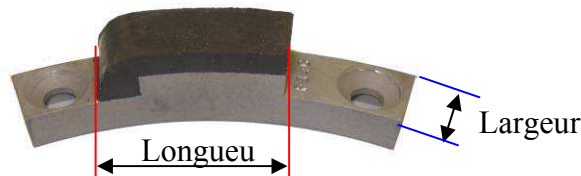


Fig.12 –Description des patins de mesure

Le frottement généré entre deux corps est une combinaison, d'une part, de leur rugosité de surface et d'autre part, de leur comportement viscoélastique. La forme et l'épaisseur des corps d'épreuves étant fixes, nous nous intéressons plus particulièrement à l'épaisseur et l'état de surface de la gomme de mesure de frottement (Fig. 13).

Les résultats correspondants aux mesures avec les gommes lisses présentent une évolution linéaire : les résultats des mesures de frottements W&S décroissent de façon linéaire lorsque l'épaisseur de la gomme diminue.

L'écart de frottement constaté avec la gomme neuve d'épaisseur 5 mm et celui mesuré avec une gomme usée de 2 mm est de l'ordre de 2 %. Cet écart est doublé lorsque l'épaisseur de la gomme usée atteint 1 mm. En se basant sur ces résultats, nous concéderons que la limite basse d'usure des patins de mesure est de 2 mm.

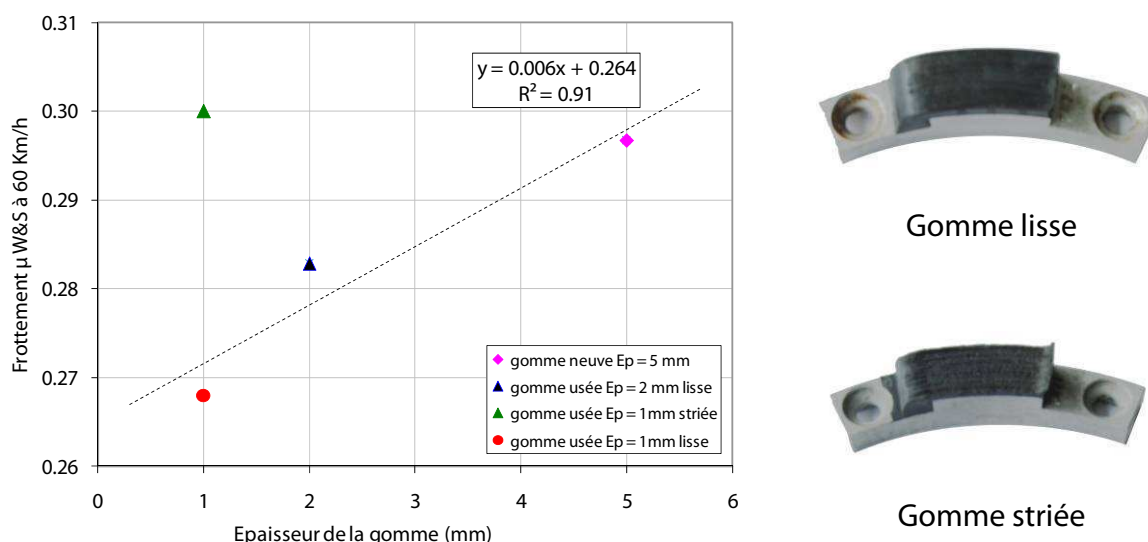


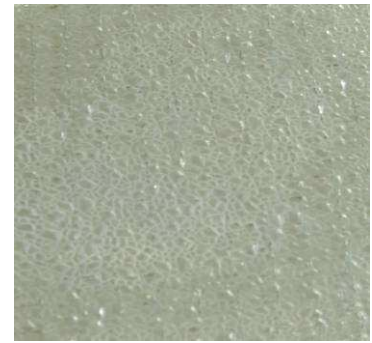
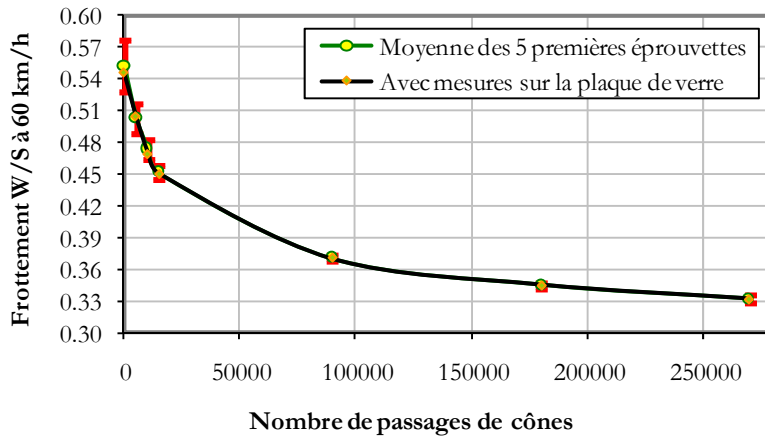
Fig.13 – Effet de l'épaisseur de la gomme de mesure de frottement

Le résultat obtenu avec gomme strié à 1 mm indique l'importance de la qualité de l'état de surface de celle-ci. En effet, le résultat est nettement supérieur par rapport à celui obtenu avec la gomme neuve à 5 mm. Cette hausse du frottement est causée par la rugosité de surface de la gomme striée.

### Rodage des patins et procédure de mesure

L'essai Wehner et Schulze doit débuter et se terminer par une mesure de contrôle sur la plaque de verre fournie par le constructeur (Fig. 14b). Les valeurs de frottement obtenues doivent être comprises entre 0.095 et 0.115.

Les essais réalisés sur mosaïques de granulats de référence en intercalant une mesure sur la plaque de verre avant chaque mesure de frottement ont conduit à des résultats similaires à ceux obtenus en réalisant les mesures directement sur les mosaïques (Fig. 14a). Par ailleurs, les valeurs obtenues sur la plaque de verre sont quasiment constantes au cours des essais. Ces résultats montrent d'une part qu'il n'est pas nécessaire de réaliser une mesure sur la plaque de verre avant chaque mesure, et d'autre part que dans le cas des mosaïques de granulats, la modification de l'état de surface de la gomme induite par le processus de mesure n'affecte pas la mesure suivante. Nous allons voir toutefois que ce résultat n'est vrai que si deux mesures consécutives sont séparées par une période de polissage suffisamment longue.



b) Texture de la plaque de verre

Fig.14 – Résultat de 5 essais successifs sur des mosaïques de granulats de référence sans rodage préalable des patins de mesure (et des cônes de polissage)

### III.4- Nombre de mesures à effectuer à chaque état de polissage

Dans cette partie nous avons examiné l'influence de la mesure répétée sur quatre roches de nature différente. Des mesures répétées sont réalisées sur chaque mosaïque de granulats à l'état initial puis après 270000 passages de cônes (Fig. 15).

Les résultats ont mis en évidence l'influence du processus de mesure sur la valeur du frottement. Ce phénomène, qui n'a pas été totalement identifié, se traduit par une diminution significative (jusqu'à 3 %) de la valeur de frottement entre 2 mesures successives.

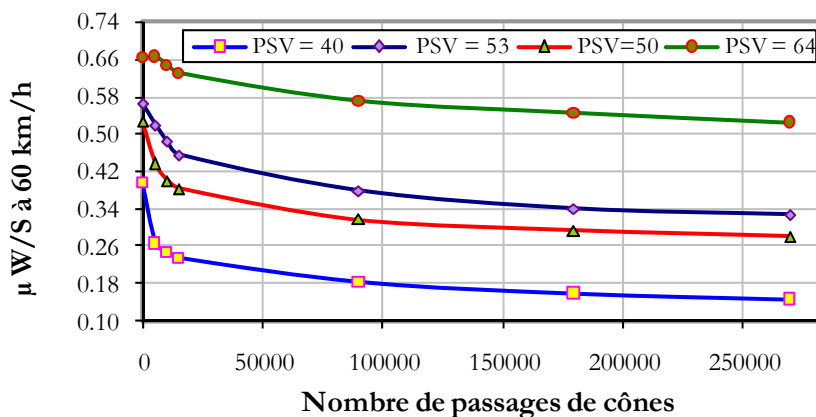


Fig.15 – Résultats de polissage sur les différents nature de roche

Ce processus semble d'autant plus important que le niveau de microtexture est élevé (Fig. 16a). Cette hypothèse se confirme sur les quatre natures de roches testées après un polissage accéléré de 270000 passages (Fig. 16b).

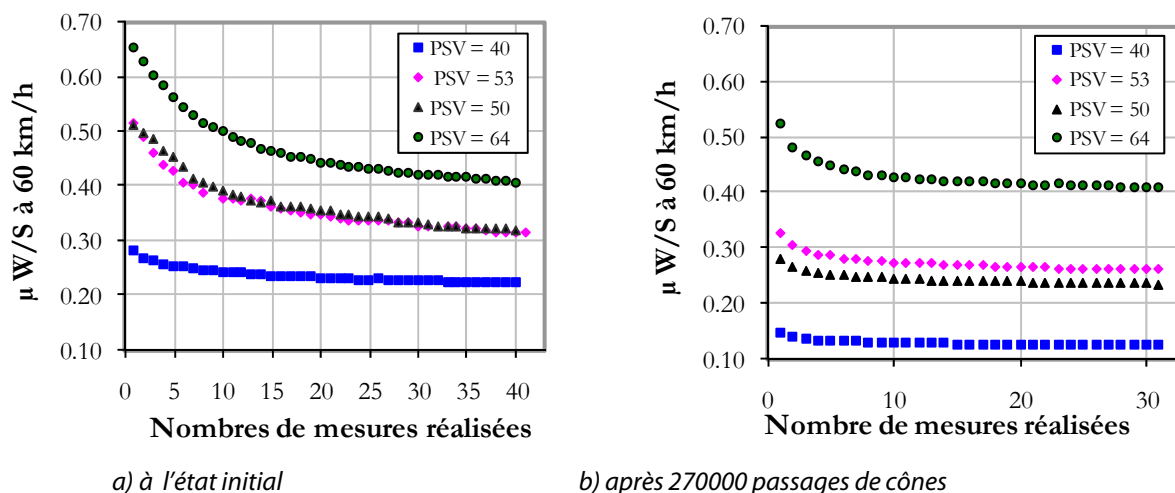


Fig.16 – Influence de mesures répétées à la Wehner et Schulze

Cette évolution peut être associée à une modification de la surface testée ou de celle des patins de mesure. Elle est de nature différente du polissage accéléré réalisé au niveau du poste de polissage. À ce titre, une seule mesure doit être réalisée à chaque état de polissage

## Conclusion

L'étude présentée dans cet article a permis d'optimiser la méthode d'essai de la résistance au polissage accéléré des matériaux de chaussées avec la machine Wehner et Schulze.

En ce qui concerne la fabrication des mosaïques de granulats, l'utilisation d'une table vibrante permet de limiter l'effet de l'opérateur et de gagner du temps. Cependant, cette pratique semble sous-estimer légèrement les résultats du polissage mais permet de comparer les travaux des différents opérateurs. Il est important de s'assurer de la planéité de l'échantillon en utilisant une résine et des charges adaptées afin de reproduire un contact plan-plan entre la mosaïque et les cônes de polissage.

Pour limiter la perte d'abrasif et l'évolution de sa granulométrie, nous conseillons l'utilisation d'une solution neuve pour chaque essai avec un ajout de 70 grammes de farine de silice et récupération de silice sur le moule tous les 90 000 passages.

Les patins de mesure doivent être remplacés lorsque leur épaisseur atteint 2 mm ou leur frottement sur la plaque de verre est en dehors de la plage [0.095, 0.115], cela permet de s'assurer d'un bon état de surface des patins. Enfin, une seule mesure de frottement est à réaliser à chaque état de polissage.

## Bibliographie

- [1] Norme NF EN 1097-8. Essais sur les propriétés mécaniques et physiques des granulats. Partie 8. Détermination du coefficient de polissage accéléré. Mars 2000.
- [2] Norme XP P 18-580, Granulats - Détermination de la résistance au polissage accéléré des gravillons – Méthode par projection, Octobre 1997.
- [3] G. Delalande. Résistance des granulats au polissage – Méthode d’essai par projection, Bulletin de liaison des laboratoires des Ponts et Chaussées, jan. – févr 1992, N°177, pp.5-17.
- [4] Huschek, S. Experience with skid resistance prediction based on traffic simulation. SURF2004, 5th Symp. on Pavement Surface Characteristics, Roads and Airports, Toronto.
- [5] Hamlat.S, Conde.T.M, Marion.P, Hammoum.P, Moreira.S. Effets de la pétrographie des granulats sur la résistance au polissage. Conférence internationale francophone de tribologie\_ Modélisation du contact et de l’usure, Albi-Mai 2010 (accepté pour publication dans les ouvrages JIFT2010 édité par les presses Polytechniques et Universitaires Romandes)
- [6] prEN 12697-49 : Bituminous mixtures — Test methods for hot mix asphalt — Part 49: Determination of the laboratory skid resistance after polishing (Wehner-Schulze-Apparatus )
- [7] Hamlat.S, Marsac.P, Min Tan Do, Ivan Drouadaine. Évaluation de la résistance au polissage des matériaux de chaussées avec la machine Wehner et Schulze « Campagne d’essai inter-laboratoires ». RGRA n° 885-juin 2010.