



HAL
open science

Caractérisation de la micro texture de chaussées par analyse d'image

Anis Ben Slimane, Madji Koudeir, Jacques Brochard, Minh Tan Do

► **To cite this version:**

Anis Ben Slimane, Madji Koudeir, Jacques Brochard, Minh Tan Do. Caractérisation de la micro texture de chaussées par analyse d'image. SURF 2004 - 5th Symposium on Pavement Surface Characteristics, Jun 2004, Toronto, Canada. 10p, ill., graphiques, tabl., bibliogr. hal-00851180

HAL Id: hal-00851180

<https://hal.science/hal-00851180>

Submitted on 12 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.

Caractérisation de la micro texture de chaussées par analyse d'image

Anis Benslimane

Etudiant en 3^{ème} année de Phd spécialité traitement d'image, au laboratoire SIC, FRE CNRS n°2731, Université de Poitiers, France, benslimane@sic.sp2mi.univ-poitiers.fr.

Majdi Koudeir

Enseignant-Chercheur, spécialité traitement d'image au laboratoire SIC, FRE CNRS n°2731, Université de Poitiers, France, khoudeir@sic.sp2mi.univ-poitiers.fr

Jacques Brochard

Enseignant-Chercheur, spécialité traitement d'image au laboratoire SIC, FRE CNRS n°2731, Université de Poitiers, France, brochard@sic.sp2mi.univ-poitiers.fr

Minh-Tan Do

Ingénieur de recherche, domaine d'intérêt : la modélisation du contact pneu/route, adhérence et analyse de la texture de surface routière au laboratoire Centrale des Ponts et Chaussées France.

RESUME

Nous étudions les revêtements routiers dans un objectif de sécurité et de suivi de leur dégradation au cours du temps à partir de l'analyse des microrugosités de la surface de ces revêtements. Les caractéristiques géométriques de ces microrugosités sont dans une gamme de hauteurs de 0.001mm à 0.5mm pour une largeur inférieure à 0.5mm. En effet une usure du revêtement se traduit par une modification de la géométrie de ces microrugosités. Cette étude a pour objectif de permettre la caractérisation de l'usure du revêtement de chaussée par analyse et traitement de leurs images. Nous effectuons cette étude en considérant les deux hypothèses suivantes: d'une part les variations de niveaux de gris dans l'image sont liées essentiellement aux variations de relief de la surface, et d'autre part le comportement photométrique d'une surface de chaussée est de type Lambertien. La première phase de cette analyse repose sur une modélisation d'un profil type de revêtement de chaussée. Plusieurs critères de caractérisation de l'usure sont ensuite élaborés. Ces critères sont basés sur une analyse statistique des variations de niveaux de gris, de la norme du gradient, de la matrice de corrélation et de la caractérisation statistique de l'histogramme des courbures de l'image. Ces critères sont appliqués sur une base d'images représentatives de revêtements routiers comprenant plusieurs niveaux de rugosité. Les différents niveaux de rugosité sont caractérisés par un coefficient de frottement, noté coefficient SRT. Les résultats de caractérisation de la rugosité par analyse d'image sont alors comparés à ceux obtenus par un procédé mécanique. Cette comparaison montre une évolution des critères de rugosité développés, analogue à celle obtenue par le procédé mécanique. Cette étude permet donc d'envisager la mise en place d'un système de caractérisation de l'usure par analyse d'image.

ABSTRACT

Skid resistance, on which road safety depends, is closely related to the road surface texture and particularly to its microtexture. The microtexture is defined as surface irregularities whose height ranges from 0.001mm to 0.5mm and whose width is less than 0.5mm. The deterioration due to the road traffic, especially polishing effect, involves a change in the microtexture. So, we suggest a method to characterise, through image analysis, wear level or micro roughness of road surfaces. We propose then, on one hand a photometric model for road surface, and, on the other hand, a geometrical model for road surface profile. These two models allow us to develop roughness criteria based on the study of the statistical properties of: the distribution of the gray levels in the image, the distribution of the absolute value of its gradient, the form of its autocorrelation function and the distribution of its curvature map. Experiments have been done with images of laboratory-made road specimens at different wear levels. The obtained results are similar to those obtained by a direct method using skid resistance tester SRT.

1- INTRODUCTION

Le développement important des infrastructures routières en France conduit au développement des outils d'auscultation et de diagnostic de l'état des routes. Cette auscultation est effectuée d'une part, dans une optique de sécurité des usagers liée à l'adhérence d'un véhicule au sol et d'autre part dans une optique de gestion du patrimoine. Dans ce cadre de sécurité, les outils d'auscultation développés doivent permettre de caractériser les différents facteurs qui régissent l'interaction route-pneumatique. Les concepts de sécurité liés à l'adhérence d'une chaussée routière dépendent fortement de la forme géométrique de la surface de la couche de roulement et plus particulièrement, en cas de route mouillée, de la micro rugosité des granulats utilisés. Le trafic routier induit une usure progressive de la surface du revêtement qui se traduit par une modification de son relief local et de sa rugosité.

Ce phénomène d'usure intervient sur les micro rugosités à deux niveaux d'échelle. Le premier niveau concerne les variations de relief de l'ordre de 100 μm et le deuxième niveau concerne les variations de l'ordre de 20 μm . Les approches actuellement utilisées par le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC) exploitent d'une part des facteurs de formes [1], définis sur des relevés profilométriques obtenus à l'aide de capteur tactile, et d'autre part une caractérisation de la surface par un pendule SRT (Skid Resistance Tester). Les paramètres d'usure sont alors extrapolés soit à partir d'une caractérisation géométrique des relevés profilométriques soit à partir du système SRT. Nous développons ici différentes mesures de rugosité par analyse d'image, en collaboration avec le LCPC, concernant l'échelle de 100 μm . Ces différentes approches sont élaborées en exploitant, d'une part, les variations géométriques globales de la surface des niveaux de gris des images et, d'autre part, une analyse fréquentielle de la distribution des niveaux de gris. Ces critères de rugosité par analyse d'image nécessitent d'une part, l'élaboration d'un modèle photométrique de la surface du revêtement et d'autre part une modélisation du profil du revêtement routier. Par ailleurs, l'effet du trafic ne se traduisant pas par une usure uniforme, il est nécessaire de développer des critères statistiques d'usure. Les images de revêtements étudiés sont des images en niveaux de gris. Ces images de revêtements (figure 1) peuvent être considérés comme des images texturées incluant à la fois des micro textures représentatives des micro aspérités existant à la surface des granulats et des macro textures représentatives des contours des granulats. La méthode proposée, après élaboration d'un modèle du profil de relief de la surface du revêtement s'articule autour des propriétés statistiques de la distribution des niveaux de gris, de la forme de la fonction d'autocorrelation, de la distribution de la norme du gradient, et des propriétés statistiques de l'histogramme des courbures liés au profil modélisé du relief.

Ainsi dans cet article nous présenterons dans un premier paragraphe, la méthode utilisée actuellement par le LCPC pour la détermination du coefficient SRT des surfaces. En section deux, nous présenterons le modèle photométrique élaboré pour un profil local de revêtement routier. Nous développerons ensuite les critères proposés puis nous présenterons la base d'images utilisée ainsi que les résultats obtenus.

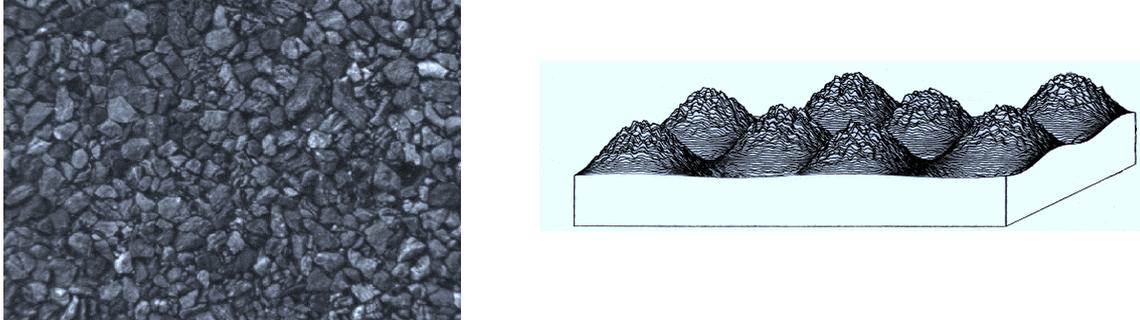


Figure 1. Image chaussée routière et macro et micro textures correspondantes

2- MESURE DU COEFFICIENT DE FROTTEMENT SRT

La mesure du coefficient de frottement est obtenue à l'aide d'un pendule de type SRT (Skid Resistance Tester). Ce système représenté en figure 2, est constitué d'un pendule dont l'extrémité est constituée d'un patin en caoutchouc. La mesure est effectuée en lâchant le pendule à partir d'une position horizontale qui vient ensuite "tangenter" la surface étudiée. Au contact de la surface le pendule perd une partie de son énergie qui est alors mesurée puis traduite en paramètre de frottement après une phase de calibration.

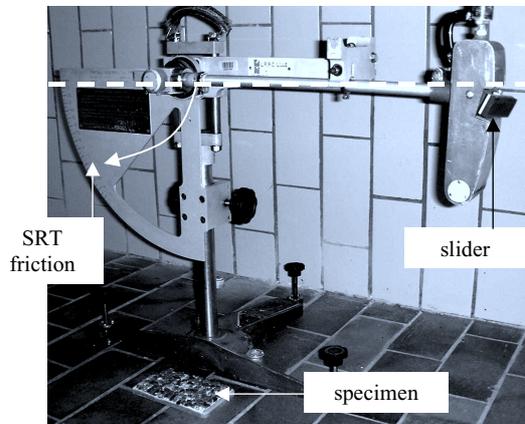


Figure 2. Skid Resistance Tester

Les surfaces sont mouillées avant le passage du pendule et les mesures sont faites en laboratoire sous contrainte d'une température constante (20°C). Pour chaque mesure une trentaine de "lâché" sont effectués et seules les trois dernières sont prises en compte pour la détermination du coefficient SRT.

3- LIEN ENTRE PROFIL DE SURFACE ET NIVEAUX DE GRIS

3.1 Modélisation du profil et modèle photométrique

Le profil du relief d'un revêtement routier, à l'échelle des micro rugosités étudiées, peut être considéré en première approximation comme une distribution aléatoire de motifs élémentaires anguleux dont les angles aux sommets et la hauteur sont variables. La nature des surfaces étudiées nous permet de considérer les hauteurs de ces motifs élémentaires comme étant très inférieures à la distance entre la caméra et la surface étudiée. Pour simplifier les calculs, nous adoptons comme motifs élémentaires, des triangles isocèles dont la taille de la base et l'angle au sommet sont des variables aléatoires. En s'appuyant ensuite, d'une part sur l'analyse du flux de lumière reçu et de celui réémis par la surface sous condition de surface Lambertienne [2], [3] [4], et d'autre part sur des relations géométriques classiques, nous pouvons exprimer les niveaux de gris de l'image de la surface en fonction des variations de hauteur $dz(x)$ de ces motifs élémentaires, soit :

$$I(x) = L_0 \cos i(x) = \frac{L_0}{\sqrt{1 + \left(\frac{dz}{dx}\right)^2}} \quad (1)$$

où $i(x)$ représente l'angle entre la normale locale à la surface et l'axe optique de la caméra. L_0 est une constante représentative de la luminance de la surface étudiée.

Un exemple de cette distribution de motifs élémentaires et les niveaux de gris correspondants sont représentés en figure 3 par $z(x)$ et $I(x)$

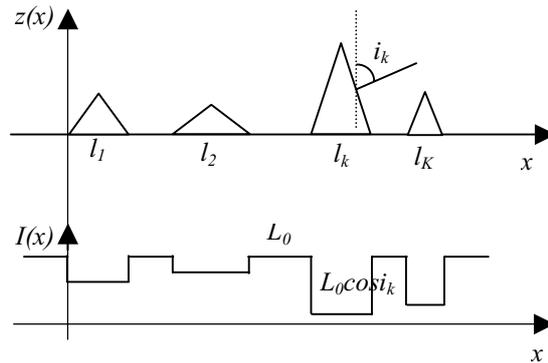


Figure 3. Allure des profils de $z(x)$ et $I(x)$

3.2 Caractéristiques du modèle de profil adopté

Dans cette étude nous considérons des motifs de largeur $l_k = l = \text{constante}$ et nous posons les variables suivantes :

l : largeur à la base d'un motif élémentaire de forme triangulaire,

N : longueur de la ligne étudiée,

K : nombre de motifs élémentaires,

$\mu = \frac{K.l}{N}$ densité des motifs,

i_k : angle d'incidence pour le motif n° k , avec $k \in \{1, 2, \dots, K\}$,

$\overline{\cos i_k}$ moyenne des valeurs de $\cos i_k$.

Pour un revêtement donné, les valeurs de L_0 , K , l et μ sont des constantes. En revanche, la loi de distribution des angles d'incidence i_k peut être de nature variable. Après analyse des histogrammes des facteurs de formes obtenues par le LCPC à l'issue de relevés profilométriques, nous choisissons une distribution gaussienne centrée sur i_{k0} et -type σ_{ik} .

4- ELABORATION DE CRITERES DE RUGOSITE

4.1 Statistiques du gradient de l'image

4.1.1 Considérations physiques

Constat de départ : un gravillon à peu près uniforme va induire de faibles variations de niveaux de gris dans l'image (cf. modèle photométrique) tandis que les aspérités au contraire vont faire alterner les zones d'ombres et les zones éclairées, et donc provoquer un nombre de variations plus grand. Le gradient de l'image est un moyen approprié pour observer des variations locales et mettre en évidence les dénivellations de niveaux de gris représentatives des micro textures ; il s'agit d'un filtre dérivateur, donc un filtre passe-haut. Après calcul de la norme du gradient 2D de l'image, nous avons caractérisé son comportement global. La moyenne et l'écart-type de ces valeurs donnent la répartition globale de ce gradient et permettent de caractériser la quantité de micro rugosités : plus celles-ci sont importantes et plus le gradient comporte de grandes valeurs. Cependant des variations de niveaux de gris au moins analogues à celles des aspérités de surface sont également provoquées par les bords des gravillons, il a donc fallu effectuer au préalable un traitement permettant l'extraction de la surface haute des granulats tout en évitant les contours des granulats.

L'évolution de ce critère selon l'usure peut être considéré à partir de la relation reliant le niveau de gris à la normale locale au relief de la surface. Ainsi, en considérant que l'usure du revêtement équivaut à un lissage de la partie haute des micro-rugosités, nous pouvons considérer qu'une augmentation du degré d'usure se traduit par une diminution des angles d'incidence a_k . Cette diminution des angles a_k conduit à une diminution des amplitudes des gradients dans l'image. Dans ces conditions, ce critère devrait décroître quand la valeur moyenne a_{k0} des angles diminue, donc quand l'usure augmente.

4.1.2 Expression du critère

Nous devons pour cela calculer la dérivée $g(x) = \frac{dl(x)}{dx}$ en considérant la nature discrète ln de $l(x)$. Les valeurs discrètes g_n du gradient s'obtiennent par la relation $g_n = l_n - l_{n-1}$. Nous calculons ensuite la moyenne de sa norme $|g(x)|$ et son écart-type σ_g . Soit la valeur moyenne de la norme du gradient, définie par :

$$\overline{|g|} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |g_n| \quad (2)$$

que l'on peut exprimer en se basant sur les caractéristiques du profil par:

$$\overline{|g|} = \frac{2L_0K}{N} (1 - \overline{\cos i_k}) \quad (3)$$

et l'écart type de la norme du gradient s'exprime par :

$$\sigma_g^2 = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N g_n^2 = \frac{2}{N} \sum_{k=1}^K L_0^2 (1 - \cos i_k)^2 \quad (4)$$

$$\text{soit : } \sigma_g^2 = \frac{2L_0^2}{N} \overline{K(1 - \cos i_k)^2} \quad (5)$$

Puis afin de nous affranchir du coefficient de luminance L_0 , nous posons comme premier critère Cr_1 le rapport suivant :

$$Cr_1 = \frac{\overline{|g(x)|}^2}{\sigma_g^2} \quad (6)$$

4.2 Caractérisation des courbures

4.2.1 Considérations physiques

Il s'agit tout comme le gradient de regarder les variations locales des niveaux de gris autour d'un pixel donné. On considère que les niveaux de gris correspondent à des altitudes et l'on calcule les rayons de courbures en chaque point. Encore une fois les aspérités de surfaces vont provoquer des variations de niveaux de gris qui donneront de faibles valeurs de rayons de courbure contrairement à un granulat qui est "lisse" et qui entraînera des valeurs de courbures importantes. Cela se traduira pour un revêtement routier par une dilatation horizontale de la de l'histogramme des courbures selon le niveau de rugosité. L'écart type de cet histogramme augmente avec l'augmentation de la rugosité. Notre critère est basé sur la caractérisation statistique de cet histogramme.

4.2.2 Expression du critère courbure

Nous calculons la courbure de la surface des niveaux de gris, à partir de la matrice du Hessien [5]. Cette matrice est définie par :

$$H(x, y) = \begin{pmatrix} r & s \\ s & t \end{pmatrix}, \text{ où } r, s, t \text{ sont définies par : } r = \frac{\partial^2 I(x, y)}{\partial x^2}, s = \frac{\partial^2 I(x, y)}{\partial x \partial y}, t = \frac{\partial^2 I(x, y)}{\partial y^2}. \quad (7)$$

Les deux valeurs propres de $H(x, y)$, sont définies par:

$$\beta_1 = \frac{1}{2} \left(r + t - \sqrt{(r-t)^2 + 4s^2} \right) \quad \text{et} \quad \beta_2 = \frac{1}{2} \left(r + t + \sqrt{(r-t)^2 + 4s^2} \right) \quad (8)$$

Ces deux valeurs propres sont appelées courbure minimale pour β_1 et courbure maximale pour β_2 . Afin de tenir compte des courbures liées aux micro-rugosités, nous considérons comme critère de rugosité dans ce cas les caractéristiques statistiques de l'histogramme de valeurs obtenues pour β_2 , soit :

$$Cr_2 = \frac{\overline{|\beta_1(x)|}}{\sigma^2} \quad (9)$$

4.3 Fonction d'auto-corrélation

4.3.1 Considérations physiques

L'idée ici est de corrélérer successivement l'image avec elle même (ce qui conduira à la valeur la plus forte du coefficient de corrélation), avec sa version décalée de un pixel, puis de deux pixels jusqu'à n pixels. Ainsi dans le cas où l'image présenterait des variations lentes de niveaux de gris et par conséquent de relief, le décalage de un pixel ou deux pixels modifieront peu la valeur des coefficients de corrélation trouvés. La surface de corrélation obtenue par la suite sera de faible pente. Par contre si l'image présente des variations rapides de niveaux de gris, le décalage de un pixel ou deux pixels modifiera sensiblement la valeur des coefficients de corrélation trouvés. La surface de corrélation obtenue par la suite sera de forte pente. Le critère basé sur la surface d'auto corrélation caractérise la pente et donc le gradient maxi de cette surface dans les deux directions x et y. Ainsi, une diminution de la pente de la surface de corrélation correspondra à une diminution de la rugosité du revêtement et inversement.

4.3.2 Expression du critère basé sur la fonction d'autocorrélation

La fonction d'auto corrélation de l'image I_n peut être définie par l'expression suivante :

$$C_\lambda = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (I_n - \bar{i})(I_{n-\lambda} - \bar{i}) \quad (10)$$

qui se met sous la forme équivalente :

$$C_\lambda = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N I_n I_{n-\lambda} - (\bar{i})^2 \quad (11)$$

Compte tenu de la forme I_n du profil, et si la distance entre deux motifs est toujours supérieure à λ , nous pouvons écrire :

$$\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N I_n I_{n-\lambda} = \frac{L_0^2}{N} \left[(1-\lambda)K \overline{\cos^2 i_k} + 2K\lambda \overline{\cos i_k} + N - K(1+\lambda) \right] \quad (12)$$

Nous avons alors :

$$C_\lambda = \frac{L_0^2}{N} \left[K \overline{\cos^2 i_k} + N - K \right] - \lambda \frac{L_0^2 K}{N} \left[\overline{\cos^2 i_k} - 2 \overline{\cos i_k} + 1 \right] - (\bar{i})^2 \quad (13)$$

puis, en posant

$$C_0 = \frac{L_0^2}{N} \left[K \overline{\cos^2 i_k} + N - K \right] - (\bar{i})^2 = \sigma_I^2 \quad (14)$$

on obtient :

$$C_\lambda = C_0 - \lambda \frac{L_0^2 K}{N} (1 - \overline{\cos i_k})^2 \quad (15)$$

L'obtention des corrélations normalisées est alors immédiate :

$$R_\lambda = \frac{C_\lambda}{C_0} = 1 - \lambda \frac{L_0^2 K}{N} \frac{(1 - \overline{\cos i_k})^2}{C_0} \quad (16)$$

Notre troisième critère Cr_3 caractérise les variations de la fonction d'autocorrélation normalisée, soit :

$$Cr_3 = \left| \frac{d}{d\lambda} R_\lambda \right| = \frac{1}{\left| 1 - \mu \frac{(1 - \cos i_k)^2}{(1 - \cos i_k)^2} \right|} \quad (17)$$

5- RESULTATS EXPERIMENTAUX

5.1 Banque d'images

Afin de pouvoir quantifier une dégradation progressive, il est nécessaire de disposer d'images représentatives du revêtement à différents degrés d'usure. Il nous est difficile actuellement de disposer de ce type d'images en raison du temps réel de dégradation du revêtement par le trafic routier. Nous choisissons donc de travailler sur des échantillons de laboratoire dont l'usure graduelle est obtenue par un procédé de polissage progressif simulant l'effet du trafic routier au cours du temps. Ces échantillons subissent différents cycles de polissage qui permettent d'obtenir différents degrés d'usure. La figure 4 présente un exemple d'échantillon étudié.



Figure 4. Exemple d'échantillon étudié

Les prises de vues sont réalisées sous les conditions ci-après. La résolution tient compte d'une part, du fait que les différents critères de rugosité seront obtenus à partir de considérations de nature statistique et exigent donc d'inclure dans l'image un nombre conséquent de granulat. D'autre part, la dimension réduite des micro rugosités recherchées (<0.1 mm) requiert plutôt une analyse locale au niveau d'un granulat. Il est donc nécessaire de trouver un compromis entre la taille du champ de l'image et la résolution recherchée. La caméra à notre disposition nous permet de travailler sur des images 512x512 pixels correspondant à un champ de 4.5x6.6 cm², soit une résolution de 0.09x0.13 mm². Par ailleurs, les différents critères de rugosité étant obtenus par des méthodes statistiques, il est nécessaire de considérer pour une même portion de revêtement plusieurs profils de granulat en différents points.

Du point de vue de l'éclairage, il est nécessaire de tenir compte de l'influence de l'angle d'éclairage et de la puissance de l'éclairage. En ce qui concerne l'angle d'incidence, différentes études sur les rugosités de textures [6], [7], ont permis de montrer que la configuration optimale pour ce type d'étude est celle d'un éclairage perpendiculaire à la surface analysé. En ce qui concerne la puissance de l'éclairage nous avons procédé à différents essais et adopté la puissance qui nous permettait d'obtenir un contraste satisfaisant sur les micro-rugosités. Nous avons alors constitué une base d'images comprenant 6 images par niveau d'usure, soit un total de 30 images.

5.2 Evolutions des critères en fonction du degré de rugosité des surfaces étudiées

Nous avons testé les différents critères présentés sur les 30 images de nos échantillons de laboratoire. A ce stade de notre étude, nous n'effectuons pas de fusion de critères afin de préserver leurs interprétations physiques. Les évolutions des valeurs moyennes et des écarts types des différents critères sont représentés ci-dessous en figure 5 et en comparaison dans chaque cas avec l'évolution du critère SRT obtenu mécaniquement par le LCPC. Les évolutions obtenues pour chacun des critères sont analogues à ceux obtenus pour le critère SRT.

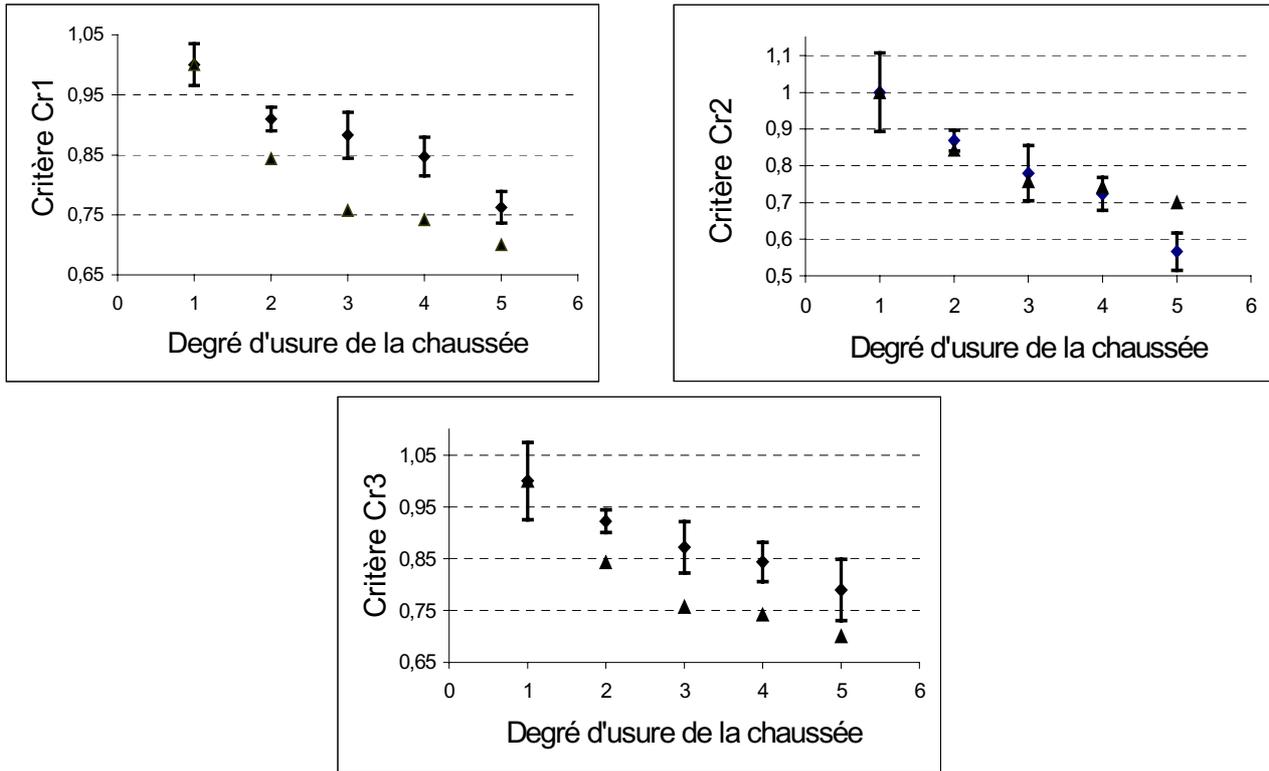


Figure 5. Evolution des critères de rugosité (◆) et du critère SRT (▲) en fonction du degré d'usure

6- CONCLUSION

Dans le cadre de l'auscultation des routes pour la caractérisation de leurs niveaux d'usure, nous développons ici une analyse de ce niveau d'usure par un système de traitement d'images. Pour cela nous faisons comme hypothèse que les variations de niveaux de gris observées dans les images de revêtements routiers sont dues essentiellement aux variations de relief des surfaces correspondantes. Nous avons aussi considéré que le comportement photométrique des surfaces de chaussée est de type Lambertien. Nous pouvons alors essayer de caractériser l'usure et donc la rugosité de la surface étudiée au travers de la rugosité de la surface de niveaux de gris correspondante. Pour cela, nous avons développé un ensemble de critères basés sur l'analyse géométrique d'une part, et sur l'analyse fréquentielle d'autre part, de la surface de niveaux de gris. Ces différents critères exploitent la fonction d'auto-corrélation, la densité des gradients et la géométrie de la surface au travers de ses courbures. Les critères développés sont testés à ce stade de l'étude sur des échantillons fabriqués en laboratoire dont les surfaces sont composées de gravillons. Ces critères ont été testés sur un ensemble de 30

images d'échantillons de laboratoire représentatives de 5 niveaux d'usure. Les évolutions obtenues pour ces différents critères en fonction du degré d'usure du revêtement sont analogues à ceux obtenus par une caractérisation mécanique de type pendule SRT. Après cette étude sur des échantillons de laboratoire nous allons étendre cette analyse à l'ensemble des familles de chaussées routières.

7- REFERENCES

- [1] ZAHOUANI, H., VARGIOLU, R. AND DO, M.-T., "*Characterization of micro texture related to wet road/tire friction*", AIPCR/PIARC, pp195-205, 2000.
- [2] BRUSQUE, C., PEYBERNARD, J., PAUMIER, J-L., PAGE. M., "*Study of photometric parameters of road surface*", Bulletin of LCPC 203, pp. 23-32, 1996.
- [3] OREN, M. and NAYAR, S. K. "*Generalization of Lambert's reflectance model*", SIGGRAPH'94 Conference, pp. 239-246, 1994.
- [4] TORRANCE, K.E. and SPARROW, E.M., "*Theory for off-specular reflection from roughened surfaces*" Journal of Optical Society of America, 57, pp. 1105-1114 ,1967.
- [5] ALVAREZ and MPREL, "*Formalization and computational aspect of image analysis*", Acta Numerica Magazine, pp.1-59, 1994.
- [6] CHANTLER, M.J. "*Why illumination direction is fundamental to texture analysis*", IEE Vision Image Signal Magazine, 142 (4), pp.199-206, 1995.
- [7] CHANTLER, M.J. and MCGUNNIGLE, G., "*The response of texture features to illuminant rotation*", ICPR Conference, Spain, pp. 995-958, 2000.