



HAL
open science

Détermination de l'Image de la Cartographie de la Texture de Chaussée par Traitement 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. Détermination de l'Image de la Cartographie de la Texture de Chaussée par Traitement d'Image. SURF 2004 - 5th Symposium on Pavement Surface Characteristics, Jun 2004, Toronto, Canada. 10p, fig., graphiques, ill. en couleurs, bibliogr. hal-00851265

HAL Id: hal-00851265

<https://hal.science/hal-00851265>

Submitted on 13 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.

Détermination de l'Image de la Cartographie de la Texture de Chaussée par Traitement 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

Le contexte de cette étude est lié au développement d'outils embarqués d'auscultation et de diagnostique de l'état des routes afin de caractériser leurs niveaux d'usure et donc d'adhérence. Pour cela nous nous intéressons ici, en collaboration avec le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC), à la faisabilité de cette auscultation par un système de traitement d'images qui pourrait à terme être embarqué. Nous développons pour cela une technique permettant la détermination de l'image de la cartographie de la texture d'une chaussée routière. En effet, Il est nécessaire de procéder, avant toute étude de caractérisation de la rugosité d'une surface de chaussée, à une séparation dans l'image des informations liées aux variations de couleur de celles liées aux variations du relief. Les variations de niveaux de gris observées dans une image de revêtement routier, peuvent être aussi bien liées aux variations de relief de la surface, qu'aux variations de la couleur de cette surface, en particulier à des résolutions faibles, ou encore aux variations de son éclairage. La difficulté est alors de pouvoir extraire des différentes informations contenues dans l'image, celle liée uniquement au relief de la surface. Dans ce but, nous proposons ici d'exploiter une méthode de stéréovision photométrique pour extraire d'une part l'information liée à la couleur et d'autre part celle liée au relief.

Cette méthode d'extraction du relief est basée sur la modélisation du comportement photométrique d'une surface de route. Le modèle photométrique adopté, qui est de type Lambertien, nous permet d'établir le lien entre le flux lumineux reçu par le capteur de la caméra et la couleur de la surface d'une part, et le relief de la surface d'autre part.

Ce lien se traduit alors par un système de trois équations à trois inconnues dont la résolution nécessite au préalable l'acquisition séquentielle de 3 images de la même surface. La résolution de ce système d'équation nous permet alors d'obtenir l'image du relief 3D de la portion de route étudiée. Puis pour tester la validité de notre approche les images de relief obtenues sont d'une

part, comparées à celles obtenues par relevés profilométriques, et d'autre part nous déterminons le degré de rugosité des images obtenues par application de critères de rugosité développés précédemment. Les résultats obtenus montrent une bonne discrimination de l'usure des chaussées. Cette étude a été menée sur différentes portions de routes qui sont représentatives des principales familles de revêtements routiers utilisées en France.

ABSTRACT

The important development of the road network in France has led to the development of tools for defect detection and for diagnosis of road conditions. This inspection, which is essential for the safety of road users, have to highlight the wear level of road surface. Wear affects mainly micro roughness of these surfaces. So, we have investigated, in collaboration with the French "Laboratoire Central des Ponts et Chaussées" (LCPC), some techniques for road texture characterization based on image analysis, which can be integrated in the future in a vehicle for a mobile system of control.

The estimation of the relief of 3D textured surface is generally made on grey level images. This supposes that the variations of grey levels are representative of the local variations of the relief. This justified assumption, in the case of surfaces uniformly colored, finds its limit in the case when these surfaces present variations of color or aspect. The corresponding image will then presents variations of grey levels which can be related to the color variations or to the relief variations or both. It is then necessary to separate the information linked to color variation from the information linked to relief variations. In this study, we propose an original method for relief extraction of 3D textured surfaces by image analysis. This method is based first, on the development of Lambertian photometric model, which takes into account the photometric properties of the surface and the relative positions between the camera, the light source and the surface plane. This model leads to a set of three equations including three unknown factors of which two are related to the relief variations that are the tow degrees of freedom describing the surface orientation. The third one is related to the colorimetric characteristics of the surface and it represents his reflectance. In a second time, to solve this system of equations, once needs three separate images acquired using under three different lighting configurations. Then, for the studied surface, we have extracted an image representative only of its local relief. We then, apply some roughness criteria on these images of relief and we obtain a good estimation of the roughness of the studied surfaces.

1- INTRODUCTION

Le développement important des infrastructures routières en France conduit au développement d'outils d'auscultation et de diagnostique de l'état des routes. Ces outils reposent en général sur l'analyse des relevés cartographiques de la texture de la chaussée. Actuellement, différentes techniques sont utilisées pour effectuer ces relevés. On peut ainsi citer d'une part les relevés profilométriques [1] et d'autre part les cartographies 3D obtenues à partir de système de vision associant une caméra et une source de lumière structurée [2].

Les inconvénients des ces techniques, liées à la très faible dimension de l'échantillon analysé et au temps d'acquisition important en ce qui concerne les relevés profilométriques, la nécessité d'une source de lumière structurée en ce qui concerne les systèmes à base de camera ne permettent pas d'envisager à terme leur transposition dans un système d'auscultation embarqué. Pour cela nous nous intéressons ici, en collaboration avec le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC), à la faisabilité de cette auscultation par un système de traitement d'images qui pourrait à terme être embarqué. Nous nous intéressons ici au mode

d'acquisition de l'image et à la caractérisation de l'usure de la surface au travers de la caractérisation de la rugosité de l'image correspondante. Du point de vue du traitement d'images, les revêtements peuvent être considérés comme des images texturées (textures de type aléatoire) incluant à la fois des micro textures représentatives des micro aspérités existant à la surface des granulats et des macro textures représentatives des contours. La difficulté est de pouvoir extraire des différentes informations contenues dans l'image, celle liée uniquement au relief de la surface. De plus les variations de niveaux observées dans une image de revêtement routier, peuvent être aussi bien liée aux variations de relief de la surface, qu'aux variations de la couleur de cette surface ou encore aux variations de son éclairage.

En effet, Les études de caractérisation de la rugosité par analyse d'images en niveau de gris [3], [4], [5], supposent généralement que les variations du niveau de gris dans une image sont représentatives de celles du relief. Cette hypothèse, qui est justifiée dans le cas des surfaces uniformément colorées, trouve ses limites dans le cas des surfaces non uniformément colorées. Dans ce cas, l'image de la surface présente des variations de niveau de gris qui sont dues aux variations de relief ou aux variations de couleur ou les deux à la fois. Il est alors nécessaire de procéder, avant toute étude de caractérisation de la rugosité, à une séparation dans l'image des informations liées aux variations de couleur de celles liées aux variations du relief. Différentes approches par filtrage exploitant les ondelettes [6], [7] ont été développés pour isoler l'information relief dans ces images. Néanmoins, ces méthodes peuvent induire un lissage du relief et peuvent être inefficace dans le cas où la fréquence spatiale de l'information liée à la couleur est du même ordre que celle liée au relief. Dans ce but, nous proposons ici d'exploiter une méthode de stéréovision photométrique pour extraire d'une part l'information liée à la couleur et d'autre part celle liée au relief, afin de pouvoir mener par la suite une étude de la caractérisation de la rugosité des surfaces de chaussée routière par analyse d'images.

Ainsi la méthode proposée repose d'une part sur l'acquisition séquentielle à partir d'un même point de vue, de trois images sous trois configurations d'éclairage différentes, et d'autre part sur l'exploitation du modèle photométrique de la surface pour établir le lien entre l'image et l'information liée au relief.

La pertinence de la méthode proposée est testée au travers de l'analyse de différentes surfaces de chaussées routières représentatives des différentes familles de revêtements routiers utilisés en France. Cette analyse sera effectuée au travers de l'évolution de critères de rugosité « image » en comparaison avec l'évolution de coefficients de frottement déterminés par des moyens mécaniques.

2- IMAGES SUPPORTS DE L'ETUDE

Les échantillons étudiés correspondent à différentes familles de revêtements routiers. Pour ces différentes familles, nous disposons de la valeur du coefficient de frottement obtenu avec le pendule SRT (Skid Resistance Tester). Ces surfaces ont été photographiées en laboratoire sous conditions d'éclairage contrôlées. La résolution recherchée dans le cadre de cette étude concerne des micro textures dont la plus petite taille reste supérieure à 30 microns.

Les images de ces revêtements sont obtenues à partir d'une camera tri-ccd. La figure 1, ci-dessous, montre un exemple de prise de vue. Du point de vue du traitement d'image les différentes parois étudiées peuvent être considérées comme des textures de type aléatoire et comportant différentes granularités de texture.



Figure 1. Exemples d'acquisition d'images de portions de chaussées routières

3- LIEN ENTRE L'IMAGE D'UNE SURFACE TEXTUREE 3D ET LE RELIEF

Pour établir le lien entre l'image, le relief et la couleur, les surfaces considérées n'ayant pas de comportement spéculaire, nous choisissons d'utiliser un modèle Lambertien [8], [9], [10] pour traduire leur comportement photométrique et établir le lien entre niveau de gris, information couleur et information relief. Pour cela, considérons une surface texturée rugueuse constituée de micro facettes Lambertienne, éclairée sous un angle d'incidence θ_i et observée par une caméra placée perpendiculairement au plan (x, y) de la surface. La figure 2 montre cette configuration. Les différents angles de cette figure sont définis ci-dessous :

θ_i : Angle d'incidence par rapport à la surface rugueuse

φ : Angle d'incidence par rapport à la facette

α : Angle que forme la normale à la facette avec la normale à la surface

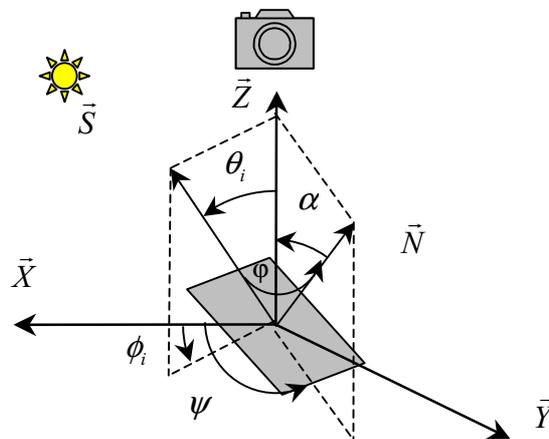


Figure 2. Configuration de la prise de vue

Dans le cas de surface Lambertienne, l'intensité $I(x, y)$ dans l'image traduit l'énergie reçue par le capteur CCD et s'exprime par la relation ci-dessous :

$$I(x, y) = \frac{L(x, y)}{r^2} \cos(\varphi) \quad (1)$$

Dans cette expression, les différents termes désignent :

$I(x, y)$: l'intensité de l'image

$L(x, y)$: Coefficient représentatif des propriétés colorimétriques de la surface

φ : Angle d'incidence par rapport à la facette

r : Distance séparant la source de lumière de la facette.

La distance r sera considérée constante du faite des faibles variations du relief local par rapport à la distance surface/source de lumière.

Nous cherchons alors à exprimer l'angle φ , angle sous lequel la source éclaire la facette, en fonction des coordonnées cartésiennes (x, y et z) du point visé et nous définissons les vecteurs suivants :

$\vec{z} = [0 \ 0 \ 1]^T$, le vecteur normal au plan de la surface rugueuse

$\vec{S} = [\sin \theta_i \cos \varphi_i \ \sin \theta_i \sin \varphi_i \ \cos \theta_i]^T$, le vecteur directeur unitaire de la source de lumière, ϕ_i est l'angle formé par l'axe des \vec{x} et la projection du vecteur source de lumière \vec{S} dans le plan (\vec{x}, \vec{y}) .

$\vec{N} = [a \ b \ c] = [\sin \alpha \cos \psi \ \sin \alpha \sin \psi \ \cos \alpha]$, le vecteur normal à la micro facette de la paroi.

Considérons un point M appartenant à la surface étudiée, le relief local au voisinage de ce point peut être considéré comme étant un plan dont l'équation est la suivante :

$$P : ax + by + cz = 0 \quad (2)$$

Alors, nous obtenons :

$$\cos \phi = \vec{N} \vec{S} = [\sin \alpha \cos \psi \ \sin \alpha \sin \psi \ \cos \alpha] [\sin \theta_i \cos \varphi_i \ \sin \theta_i \sin \varphi_i \ \cos \theta_i]^T \quad (3)$$

$$D'où : \cos \phi = \cos \alpha (\tan \alpha \cos \psi \sin \theta_i \cos \varphi_i + \tan \alpha \sin \psi \sin \theta_i \sin \varphi_i + \cos \beta) \quad (4)$$

De l'équation $P : ax + by + cz = 0$, nous obtenons :

$$z(x, y) = -\frac{a}{c}x - \frac{b}{c}y \Rightarrow \begin{cases} \frac{\partial z}{\partial x} = -\frac{a}{c} \\ \frac{\partial z}{\partial y} = -\frac{b}{c} \end{cases} \quad (5)$$

En combinant l'équation de \vec{N} avec l'équation (5), nous obtenons :

$$\begin{cases} \frac{\partial z}{\partial x} = -\frac{a}{c} = -\tan \alpha \cos \psi \\ \frac{\partial z}{\partial y} = -\frac{b}{c} = -\tan \alpha \sin \psi \end{cases} \quad (6)$$

Nous déduisons alors $\cos \alpha$ comme suit :

$$\cos^2 \alpha = \frac{1}{1 + \tan^2 \alpha} \Rightarrow \cos \alpha = 1 / \sqrt{1 + (\partial z / \partial x)^2 + (\partial z / \partial y)^2} \quad (7)$$

Et finalement, à partir des équations (1), (4), (6) et (7), nous obtenons l'équations suivante :

$$I(x, y) = \frac{L(x, y) \cos \theta_i - \frac{\partial z}{\partial x} \sin \theta_i \cos \varphi_i - \frac{\partial z}{\partial y} \sin \theta_i \sin \varphi_i}{r^2 \sqrt{1 + (\partial z / \partial x)^2 + (\partial z / \partial y)^2}} \quad (8)$$

Cette expression nous permet d'expliciter l'information contenue dans le niveau de gris de l'image.

4- PERTINENCE DU MODELE PHOTOMETRIQUE

Afin d'illustrer la pertinence de la relation (8) qui permet d'exprimer le niveau de gris de l'image et les variations de relief de la surface étudiée, nous avons utilisé cette relation pour construire des images artificielles en partant de cartographies réelles de surfaces. Ainsi pour un certain nombre de portions de surface de chaussées routières, le LCPC nous a fournit les cartes des hauteurs correspondantes. Ces cartes des hauteurs sont obtenues par un procédé de mesure exploitant un capteur laser.

Nous effectuons alors la construction de l'image de niveaux de gris de la surface à partir de la relation (8) issue du modèle photométrique. Cette reconstruction est effectuée en considérant que la surface ne comporte pas de variations de couleur ($L=1$) et que l'angle entre la source d'éclairage et l'axe de la caméra est nul. Nous présentons en figure 3 un exemple de surface la carte des hauteurs correspondante et son image reconstruite. La bonne correspondance observée entre l'image reconstruite et le relief réel de la surface souligne la pertinence du modèle exploité.

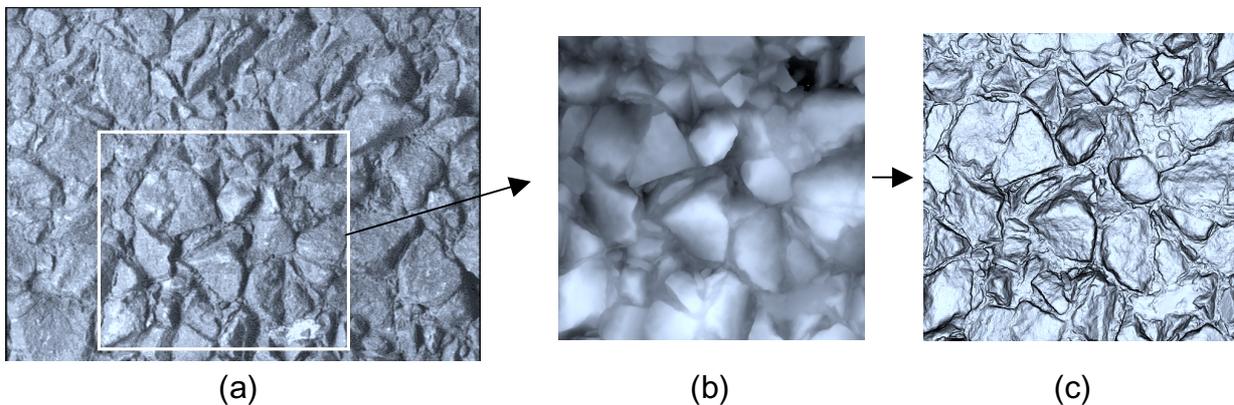


Figure 3. Exemple de surface de chaussée (a), sa carte des hauteurs (b) et l'image reconstruite correspondante (c).

5- METHODE D'EXTRACTION DE L'INFORMATION LIEE AU RELIEF

Afin d'extraire de l'image l'information liée au relief uniquement nous exploitons l'équation (8). Cette équation comprend trois inconnues dont deux sont liées aux variations locales du relief ($\partial z / \partial x$ et $\partial z / \partial y$) et une liée aux propriétés colorimétriques de la surface $L(x, y)$. Le problème revient à résoudre un système de trois équations à trois inconnues. Pour produire les trois équations dont nous avons besoin pour déterminer les trois inconnues, nous procédons à l'acquisition de trois images de la même surface éclairée sous différents angles d'incidence.

Pour éviter l'apparition des phénomènes d'ombres dans les images, nous éclairons la surface avec un faible angle d'incidence.

Soient I_1 , I_2 et I_3 les images prises successivement avec les conditions d'éclairages suivantes : $(\theta_i = \theta$ et $\varphi_i = 0)$, $(\theta_i = \theta$ et $\varphi_i = 2\pi/3)$ et $(\theta_i = \theta$ et $\varphi_i = -2\pi/3)$.

Le système d'équations ainsi constitué est le suivant :

$$\begin{cases} I_1(x, y) = L(x, y) \frac{\cos \theta - \frac{\partial z}{\partial x} \sin \theta}{\sqrt{1 + (\partial z/\partial x)^2 + (\partial z/\partial y)^2}} \\ I_2(x, y) = L(x, y) \frac{\cos \theta + \frac{1}{2} \frac{\partial z}{\partial x} \sin \theta - \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{\partial z}{\partial y} \sin \theta}{\sqrt{1 + (\partial z/\partial x)^2 + (\partial z/\partial y)^2}} \\ I_3(x, y) = L(x, y) \frac{\cos \theta + \frac{1}{2} \frac{\partial z}{\partial x} \sin \theta + \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{\partial z}{\partial y} \sin \theta}{\sqrt{1 + (\partial z/\partial x)^2 + (\partial z/\partial y)^2}} \end{cases} \quad (9)$$

La résolution de ce système d'équations conduit à :

$$\begin{cases} \frac{\partial z}{\partial x} = -\frac{(2I_1 - I_2 - I_3)\cos \theta}{(I_1 + I_2 + I_3)\sin \theta} \\ \frac{\partial z}{\partial y} = -\frac{\sqrt{3}(-I_2 + I_3)\cos \theta}{(I_1 + I_2 + I_3)\sin \theta} \end{cases} \quad (10)$$

Le système d'équations obtenu permet ainsi d'exprimer les variations de relief en fonction des niveaux de gris des différentes images acquises.

6- RESULTATS EXPERIMENTAUX

Nous avons effectués les prises de vues sur les chaussées dont les images sont représentées en figure1. Nous avons placé la caméra perpendiculairement à la surface à une distance de 1 m. Les trois images, nécessaires pour l'extraction de l'information liée au relief, ont été prises avec les conditions suivantes : la première image avec les conditions d'éclairage $(\theta_1$ et $\phi_1)$, La deuxième image avec les conditions d'éclairage $(\theta_2$ et $\phi_2)$ et la troisième image avec les conditions d'éclairage $(\theta_3$ et $\phi_3)$. En outre, nous choisissons un angle θ_i faible afin d'éviter la présence d'ombres sur les images.

Des exemples de résultats obtenus sont donnés en figure 4. Nous présentons une image parmi les trois prises de vues effectuées, et l'image extraite correspondant à l'image des variations de relief que nous avons traduit en niveau de gris (le blanc correspond à la hauteur maximum). Nous constatons à ce stade de l'étude, la bonne correspondance entre le relief extrait et la géométrie de la surface photographiée.

Une des trois images acquises



Image du relief

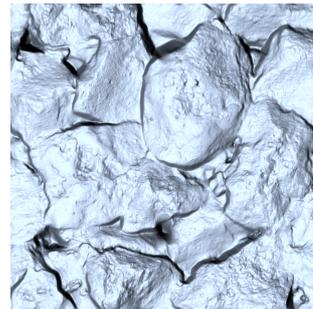
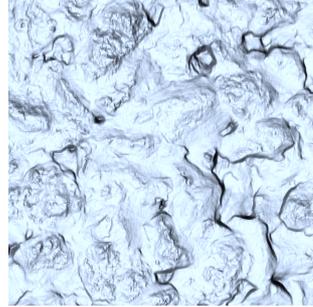
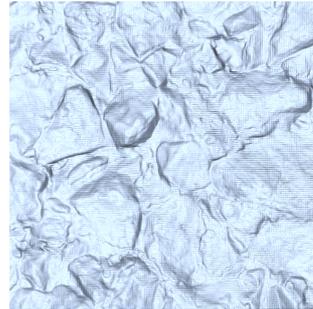


Figure 4. Exemples de surfaces de chaussées et images de relief obtenues

7- PERTINENCE DE LA METHODE ET CARACTERISATION DE LA RUGOSITE

Afin de montrer la pertinence des images extraites de relief, nous effectuons une analyse de la rugosité en caractérisant géométriquement et fréquemment la surface de niveaux de gris de ces images. Pour cela, nous exploitons un critère de rugosité basé sur les variations de la fonction d'autocorrélation et sur l'histogramme des coefficients d'ondelettes [11] de l'image du relief. Nous considérons ici 15 échantillons de routes différentes et les prises de vues sont effectuées sur des portions de $9 \times 6 \text{ cm}^2$ avec une résolution de 30 microns. L'évolution de ce critère est comparée aux résultats obtenus par une caractérisation mécanique de type pendule SRT. L'évolution de ces deux critères est représentée en figure 5. Les résultats obtenus montrent une bonne correspondance pour 13 échantillons sur 15.

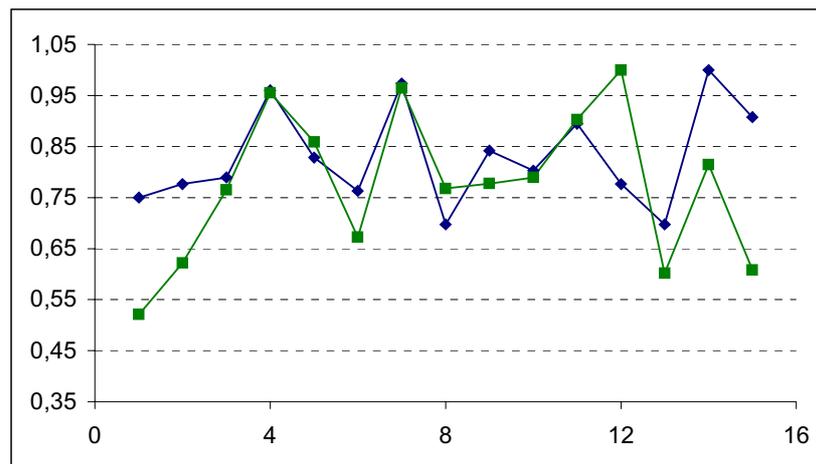


Figure 6. Evolutions du critère image (■) et du critère SRT (◆).

8- CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Cette étude permet la détermination de la rugosité de surfaces de chaussées routières, dans le cadre de l'étude de l'usure des chaussées routières sous l'influence du trafic routier. Une détermination de la rugosité d'une surface par analyse d'image nécessite au préalable une séparation dans l'image, de l'information liée au relief de celle liée à l'aspect coloré de la surface. Pour cela, nous proposons une méthode basée sur un système de stéréovision photométrique et sur le modèle photométrique de la surface étudiée. Cela nous permet de mettre en équation le lien entre le relief local de la surface, son aspect coloré et son image en niveau de gris. Puis à partir des différentes prises de vues effectuées, nous avons extrait d'une part l'image représentative uniquement des variations de relief et d'autre part celle représentative uniquement de l'aspect coloré de la surface. Cette approche a été développée dans un premier temps, pour des images en niveaux de gris, puis nous l'avons étendue au cas des images en couleur. Les images obtenues ont permis alors de développer une caractérisation de la rugosité de surfaces avec un taux de caractérisation satisfaisant de 86 %. Cette évaluation de la rugosité est obtenue au travers de la caractérisation de micro textures de tailles supérieures ou égales à 30 μm . Afin d'optimiser les performances de ce système nous envisageons des développements dans les directions suivantes : Calibration des images de relief obtenues, et recherche de matériel d'acquisition plus performant en fonction des évolutions technologiques.

Par ailleurs, nous pouvons envisager à terme de développer une approche pour extraire directement une cartographie de la surface de chaussée analogue à celle obtenue par la méthode de relevé laser en cours actuellement au LCPC. Ces différentes approches pourront aussi être transformées pour une auscultation du revêtement en dynamique.

8- REFERENCES

[1] ZAHOUANI, H., VARGIOLU, R. AND DO, M.-T., "Characterization of micro texture related to wet road/tire friction", AIPCR/PIARC, pp.195-205, 2000.

- [2] BLOT, G. (1984), "*Utilisation de la photographie de moiré pour mesurer l'usure des granulats dans les couches superficielles de chaussées*", Bulletin of the international Association of Engineering Geology, Paris, 30.
- [3] DOUIRI, N., KHOUDEIR, M., OLIVIER, C. "*Roughness Characterization of indoor Environment*" Image Analysis and Stereology Magazine, Vol. 20, n° 2, pp.225-229, 2001.
- [4] PAQUIS S, LEGEAY V., KONIK H. and CHARRIER J., "*Multiresolution texture analysis applied to road surface inspection*", SPIE Conference on machine vision application in industrial inspection, San Jose, USA, pp. 242-249, 1999.
- [5] KHOUDEIR, M., BROCHARD, J., AUGEREAU, B., LEGEAY, V., "*Discrimination of 3D textured surface: Application to the road surface wear level estimation*", IAPR-International conference on Vision Interface, Montreal, pp. 174-178, 2000.
- [6] KHOUDEIR, M., BENSLIMANE, A., OLIVIER, C. "*Contribution to the separation of the color information from the relief information on textured images*", European Conference on Colour in Graphics, Imaging, and Vision, Poitiers, France, pp 283-286, 2002.
- [7] MALLAT, S., "*A theory for multiresolution signal decomposition : the wavelet representation*", IEEE, PAMI, vol. 11, pp.674-693, 1989.
- [8] OREN, M. and NAYAR, S. K. "*Generalization of Lambert's reflectance model*" Computer Graphics conference SIGGRAPH'94, pp 239-246, 1994.
- [9] TORRANCE, K.E. and SPARROW, E.M. "*Theory for off-specular reflection from roughened surfaces*" Journal of Optical Society of America, vol. 57, pp. 1105-1114, 1967.
- [10] PHONG, B.T. "*Illumination for computer generated pictures*" Communications of the ACM, vol. 18, pp. 311-317, 1975.
- [11] KHOUDEIR, M., BROCHARD, J., AUGEREAU, B., LEGEAY, V. and DO, M-T, "*Contribution to the study of road holding through road micro texture analysis*", IEEE-QCAV2001, France, pp.195-199, 2001.