

# Discrimination de Surfaces Texturées 3D : Application à la Caractérisation de l'Usure de Revêtements Routiers.

Majdi Koudeir, Jacques Brochard,  
Bertrand Augereau  
IRCOM-SIC, UMR-CNRS n° 6615  
86962 Futuroscope Cedex, France  
Email : [koudeir@sic.sp2mi.univ-poitiers.fr](mailto:koudeir@sic.sp2mi.univ-poitiers.fr)

Vincent Legeay  
Laboratoire Central des Ponts et Chaussées  
44340 Bouguenais, France

## Résumé

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 de la rugosité des granulats utilisés. La dégradation au cours du temps de la chaussée entraîne une évolution du relief de ces granulats. Nous développons ici une méthode pour caractériser cette évolution. Cette approche est basée, d'une part sur l'analyse des coefficients de corrélations des niveaux de gris et d'autre part sur l'élaboration d'une image représentative des aspérités à la surface des granulats complétée par l'étude fréquentielle de l'histogramme de ces images. Nous validons cette approche sur une banque d'images synthétiques puis sur une banque d'images réelles. Les résultats obtenus permettent de confirmer les tendances d'usure observées sur les échantillons réels.

## Abstract

Security concepts linked to road holding depend strongly on the shape of the surface of the upper layer of the road surface and particularly on the chipping surface roughness. The deterioration due to the road traffic involves a change of the relief and the roughness of the considered chippings. Here we suggest a method to characterise the wear level of road surfaces. The suggested method is based on the study of correlation coefficients of the original image on the one hand and on the other hand on frequential study of the histogram taken from an elaborate image representative of the asperities on the chippings. To test this approach we consider two kinds of image : synthetic images made with an artificial wearing process and real images taken from worn road surfaces. The results obtained for these two databases confirm the wear tendency.

## 1 Introduction et position du problème

La couche de roulement d'une chaussée routière est composée d'un mélange de granulats et de bitume. Ces mélanges sont multiples et variés, mais ils peuvent être regroupés en quatre familles de revêtements représentés en figure 1. Différentes études [1] [4] [5] ont été menées pour la discrimination de différents types de revêtements non usés en fonction de leurs caractéristiques physiques. Les concepts de sécurité, liés à l'adhérence d'une chaussée, ainsi que le confort de conduite pour l'utilisateur de la route dépendent en grande partie de la rugosité des granulats utilisés. Il s'agit d'aspérités, de hauteur inférieure à 0.2 mm et de largeur inférieure à 0.5 mm. La circulation des véhicules sur la chaussée entraîne une évolution de la forme de ces aspérités et donc une usure de la chaussée. Cette usure se traduit au niveau des granulats, par un polissage des aspérités sur leurs surfaces hautes. Du point de vue analyse d'image nous pouvons considérer l'image de ces revêtements comme composée d'une macro texture correspondant aux granulats et aux liants, et d'une micro texture correspondant aux aspérités à la surface des granulats. Afin d'évaluer l'état du revêtement dans ses premières phases d'usure, nous

proposons de caractériser l'évolution du relief de la micro texture de la chaussée par analyse d'image.

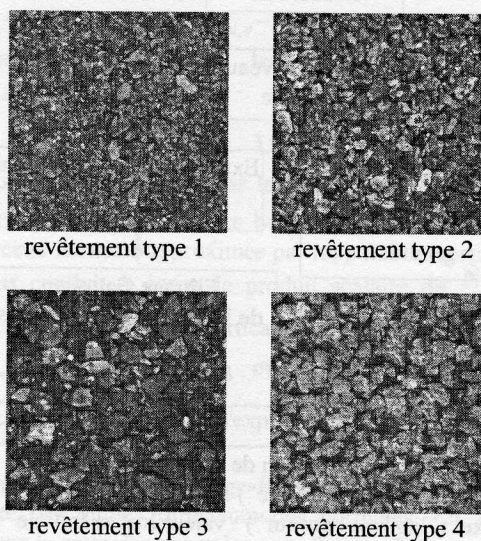


Figure 1 : échantillons représentatifs de 4 familles de revêtements de chaussées.

## 2 Banque d'image support de l'étude

Actuellement, il n'existe pas de banque d'images de revêtements de routes à différents degrés d'usure. Cependant, nous disposons de quelques couples d'échantillons réels (usé/non usé), représentatifs des quatre principales familles de revêtements. Ces différents échantillons permettront de tester uniquement la tendance d'usure. Il nous a donc paru indispensable de disposer d'une banque d'images incluant différents niveaux d'usure. Dans ce but, nous avons élaboré un processus de dégradation artificielle des images de revêtements neufs. Nous obtenons ainsi une banque d'images synthétiques qui, pour chaque type de revêtements, inclut des images à différents degrés d'usure. Les méthodes développées dans cet article seront testées sur la banque d'images synthétiques puis sur la banque d'images obtenues à partir des couples d'échantillons réels.

### 2.1 Banque d'images synthétiques

La circulation de véhicules sur les chaussées routières entraîne une usure du revêtement qui se traduit essentiellement par un lissage localisé sur la surface haute des granulats. Ce phénomène peut être modélisé par un filtrage gaussien anisotrope sur la partie représentative des granulats des images de revêtements non dégradés. La variance  $\sigma$  de ce filtre est caractéristique du niveau d'usure du revêtement. Nous avons ainsi élaboré pour chaque famille de revêtements, représentée par 10 images, quatre degrés d'usure issus de l'image originale (degré d'usure zéro), et trois niveaux d'usure obtenus respectivement pour  $\sigma=0.3$ ,  $\sigma=0.4$  et  $\sigma=0.5$ , ce qui nous permet de disposer d'une base de 160 images. Le principe d'obtention de ce filtrage est décrit par l'organigramme représenté figure 2.

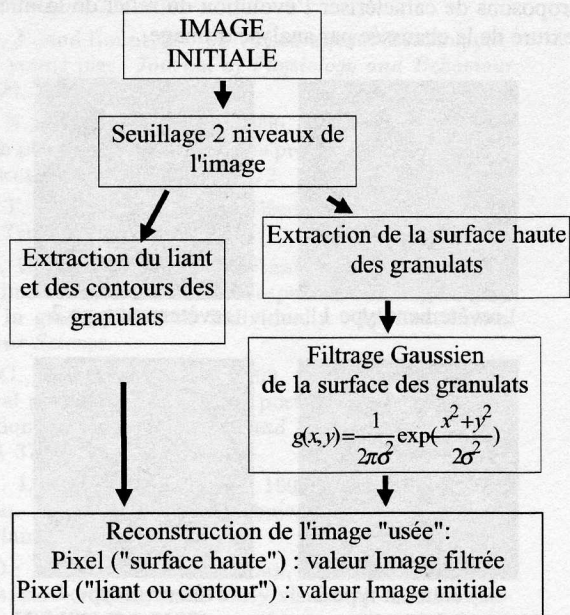
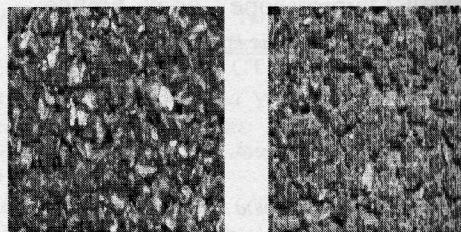


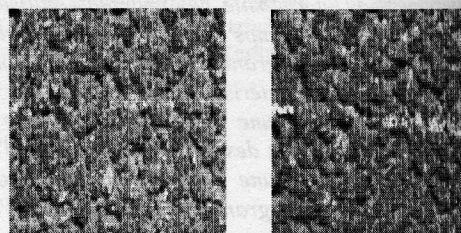
Figure 2 : synoptique du processus d'usure synthétique

### 2.2 Banque d'images "réelles"

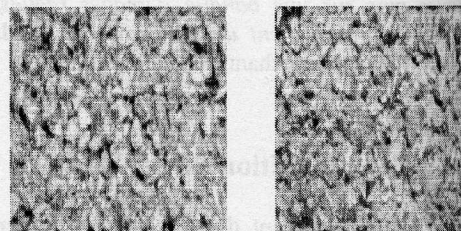
Nous avons effectué des prises de vues sur 4 couples d'échantillons (usé/non usé) mis à notre disposition. Les conditions de prises de vues sont choisies de manière à obtenir, d'une part une représentation significative de la micro texture (1 pixel pour 0.2mm) et pour conserver, d'autre part les propriétés statistiques du revêtement. Les images obtenues, à partir de portions physiquement différentes sont représentées figure 3.



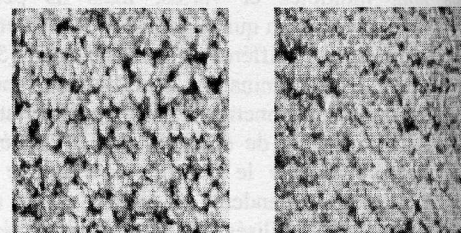
Revêtement 1 : non circulé / circulé



Revêtement 2 : non circulé / circulé



Revêtement 3 : non circulé / circulé



Revêtement 4 : non circulé / circulé

Figure 3 : Couples d'images représentatifs de revêtements circulés et non circulés

### 3 Elaboration d'un critère de mesure du degré d'usure

#### 3.1 Approche stochastique

Le phénomène d'usure se traduit, en première approximation, par un lissage local de la surface des granulats constituant le revêtement bitumineux. Ce lissage est modélisé ici par un filtrage gaussien localisé sur la micro texture liée aux surfaces hautes des granulats. Les analyses d'usure effectuées par les experts, sont généralement menées sur des portions géographiquement différentes de la chaussée. Cela nous a amené à considérer un critère global de mesure d'usure.

En raison de la forte sensibilité des coefficients de corrélations au filtrage gaussien [2] [3], nous proposons d'utiliser ces coefficients comme premier critère d'analyse d'usure. Afin de mettre en évidence cette dépendance des coefficients de corrélation dans le cas d'une texture de type aléatoire, considérons une texture aléatoire  $W$ , dont les niveaux de gris sont notés  $w_{k,l}$  et sa version lissée  $W^f$ , par un filtre gaussien de réponse impulsionnelle discrète

$g_{m,n} = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp(-\frac{m^2+n^2}{2\sigma^2})$ . L'image filtrée peut alors s'exprimer par le produit de convolution discret

$w_{k,l}^f = \sum_n \sum_m g_{m,n} w_{k-m,l-n}$  où la dimension du filtre gaussien est  $2K+1$ . Les coefficients de corrélations  $r_{i,j}^f$  sur l'image filtrée  $w^f$  s'expriment par  $r_{i,j}^f = E\{w_{k,l}^f \cdot w_{k-i,l-j}^f\}$ .

soit  $r_{i,j}^f = E\left\{\left(\sum_{m=1}^{2K+1} \sum_{n=1}^{2K+1} g_{m,n} \cdot w_{k-m,l-n}\right) \cdot \left(\sum_{s=1}^{2K+1} \sum_{t=1}^{2K+1} g_{s,t} \cdot w_{k-i-s,l-j-t}\right)\right\}$

d'où  $r_{i,j}^f = \sum_{m=1}^{2K+1} \sum_{n=1}^{2K+1} g_{m,n} \cdot \sum_{s=1}^{2K+1} \sum_{t=1}^{2K+1} g_{s,t} \cdot E\{w_{k-m,l-n} \cdot w_{k-i-s,l-j-t}\}$  expression dans laquelle  $E\{w_{k-m,l-n} \cdot w_{k-i-s,l-j-t}\} = r_{i+s-m,j+t-n}$  représente les coefficients de corrélations de l'image initiale  $W$ . Ainsi les coefficients de corrélation obtenus pour l'image filtrée sont fonction de la variance  $\sigma$  du filtre et des coefficients de corrélations de l'image non filtrée.

La figure 4 ci-dessous présente la variation du coefficient de corrélation  $r_{00}$ , obtenu pour la texture aléatoire du revêtement de type 1, en fonction de l'écart type  $\sigma$  du filtre gaussien appliqué. L'amplitude des coefficients de corrélations devrait ainsi diminuer avec l'accroissement de l'usure d'un revêtement.

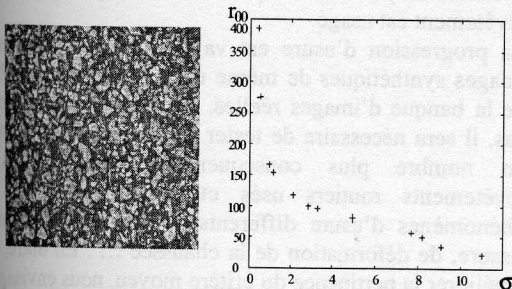


Figure 4 : Evolution du coefficient de corrélation  $r_{00}$  en fonction de  $\sigma$  pour la texture de type 1.

Pour caractériser l'évolution de la micro texture au cours du temps nous proposons d'étudier l'évolution globale des coefficients  $r_{00}$ ,  $r_{01}$ ,  $r_{10}$ , et  $r_{11}$ . Nous limitons notre analyse à ces quatre coefficients en raison d'une part de la dimension de la micro texture dans les images étudiées qui reste inférieure ou égale à 2 pixels, et de la possibilité de rencontrer d'autre part une direction privilégiée d'usure liée au sens de circulation. Notre premier critère d'usure sera la valeur moyenne des variations entre les quatre coefficients considérés, soit

$$crit1 = \frac{1}{3} ((r_{00} - r_{01})^2 + (r_{00} - r_{10})^2 + (r_{00} - r_{11})^2)^{\frac{1}{2}}$$

#### 3.2 Approche géométrique

Le relief des revêtements de chaussée est caractérisé au niveau de la surface des niveaux de gris de l'image, par des variations de faible fréquence liées à la forme globale des granulats et à la forme du liant ainsi que des variations de plus faible amplitude, mais de fréquence plus élevée, liées aux petites aspérités des granulats. Afin de mettre en évidence ces différentes variations de courbure surfacique, nous élaborons l'image des angles entre les normales à la surface des niveaux de gris et la verticale au plan image.

En géométrie classique, la normale à une surface s'obtient par le produit vectoriel des composantes tangentielles. Dans le cas d'une surface image dans un repère  $R(O, \vec{u}, \vec{v}, \vec{w})$ , on peut considérer les quatre faces triangulaires associées à un point et à son voisinage 4-connexe. Le point où l'on calcule la normale est le point  $W_{0,0} = (u, v, w_{u,v})$ , ses voisins étant référencés

$W_{-1,0} = (u-1, v, w_{u-1,v})$ ,  $W_{0,1} = (u, v+1, w_{u,v+1})$ ,  $W_{1,0} = (u+1, v, w_{u+1,v})$  et  $W_{0,-1} = (u, v-1, w_{u,v-1})$ . En

considérant la face passant par les points  $W_{0,0}$ ,  $W_{0,1}$  et  $W_{1,0}$ , il est possible de calculer le vecteur normal

$\vec{N}_1 = W_{0,0}W_{1,0} \wedge W_{0,0}W_{0,1} = (w_{u,v} - w_{u+1,v}, w_{u,v} - w_{u,v+1}, 1)$  à ce plan, ainsi que pour les trois autres plans, soit

$\vec{N}_2 = (w_{u-1,v} - w_{u,v}, w_{u,v} - w_{u,v+1}, 1)$ ,  $\vec{N}_3 = (w_{u-1,v} - w_{u,v}, w_{u,v+1} - w_{u,v}, 1)$  et

$\vec{N}_4 = (w_{u,v} - w_{u+1,v}, w_{u,v-1} - w_{u,v}, 1)$ . La normale discrète en  $W_{0,0}$

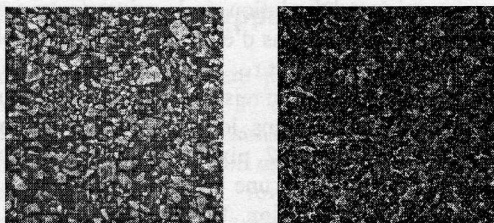
peut être approximée par la moyenne  $\vec{N}_{u,v}$  des vecteurs normaux aux faces. Notre but étant d'obtenir l'inclinaison de cette normale approximée par rapport à la verticale, cela nous conduit à écrire le produit scalaire de  $\vec{N}_{u,v}$  et du

vecteur unitaire vertical  $\vec{z}$ . Ainsi, l'on a

$\vec{N}_{u,v} \cdot \vec{z} = |\vec{N}_{u,v}| |\vec{z}| \cos(\theta)$  où  $\theta$  est l'angle des deux

vecteurs, ce qui permet d'exprimer  $\theta = \text{Arc cos}\left(\frac{\vec{N}_{u,v} \cdot \vec{z}}{|\vec{N}_{u,v}|}\right)$ .

Ainsi, à partir d'une image  $W$ , nous pouvons construire la carte des angles directeurs des normales. La figure 5b donne la carte des normales pour l'image 5a.



5a

5b

Figure 5 : 5b carte des angles  $\theta_{k,l}$  des normales de la texture 5a

Afin de rechercher l'information usure, nous avons représenté figure 6 les histogrammes des niveaux de gris des images des angles d'un couple d'images de revêtement usé/non usé. L'analyse des histogrammes de ces images, pour un couple (usé/non usé) de revêtement, permet de mettre en évidence une diminution des fréquences hautes de ces histogrammes et une conservation des fréquences basses des histogrammes, ce qui semble physiquement cohérent. Cette tendance vérifiée sur l'ensemble de la base d'images, nous a conduit à extraire les fréquences élevées des histogrammes et à les caractériser par leurs surfaces. La surface des fréquences hautes des histogrammes sera notre deuxième critère. Soit

$$crit\ 2 = \sum \left| \frac{d}{dNG} \left( \frac{hist(\theta_{k,l})}{\sum hist(\theta_{k,l})} \right) \right|, \text{ où } \theta_{k,l} \text{ représente}$$

l'image des angles,  $hist(\theta_{k,l})$  son histogramme et NG les niveaux de gris de cet histogramme.

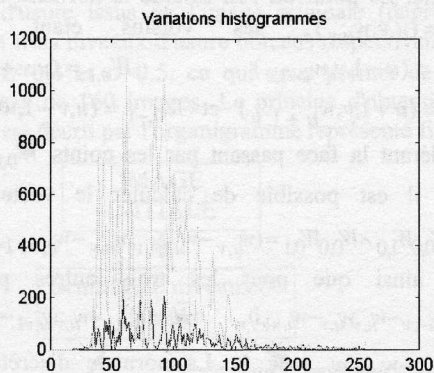


Figure 6 : histogrammes des images des angles pour un couple usé/non usé.

#### 4. Résultats de caractérisation du niveau d'usure

Les deux critères élaborés ci-dessus reflètent une variation de l'état du revêtement étudié. Ces deux critères sont d'amplitude décroissante pour une augmentation du niveau d'usure du revêtement. Les conditions de prises de vues (éclairage, mise au point), ainsi que la localisation géographiquement différente des échantillons usés et non usés étudiés, peuvent diminuer la sensibilité de l'un de ces deux critères. Nous utilisons alors un critère global qui est la valeur moyenne de ces deux critères.

Nous avons appliqué la méthode proposée aux deux banques d'images décrites au paragraphe 2 et sur lesquelles nous pouvons extraire le critère moyen d'usure. Les tableaux 1 et 2 regroupent les valeurs obtenues, selon les différentes familles de revêtements.

Tableau 1 : évolution du critère moyen d'usure sur banque d'image synthétique

| Chaussées routières | Niveau d'usure |                      |                      |                      |
|---------------------|----------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|                     | Degré zero     | Degré 1 $\sigma=0.3$ | Degré 2 $\sigma=0.4$ | Degré 3 $\sigma=0.5$ |
| Type 1              | 0.849          | 0.777                | 0.484                | 0.441                |
| Type 2              | 0.864          | 0.669                | 0.521                | 0.474                |
| Type 3              | 0.910          | 0.801                | 0.499                | 0.469                |
| Type 4              | 0.899          | 0.789                | 0.501                | 0.488                |

Tableau 2 : évolution du critère moyen d'usure sur banque d'images réelles.

| Chaussées routières | Etat du revêtement |       |
|---------------------|--------------------|-------|
|                     | non usé            | usé   |
| Type 1              | 0.852              | 0.820 |
| Type 2              | 0.858              | 0.761 |
| Type 3              | 0.842              | 0.799 |
| Type 4              | 0.852              | 0.689 |

Pour les images synthétiques (tableau 1), nous vérifions, pour les 4 types de revêtements, que le critère décroît au fur et à mesure que le degré d'usure augmente. Les conclusions vont dans le même sens pour les images réelles de revêtements routiers (tableau 2).

#### Conclusion

Nous avons développé une méthode permettant de caractériser le niveau d'usure de revêtements routiers. Cette méthode s'appuie sur l'élaboration de deux critères, l'un basé sur les corrélations des images étudiées, l'autre utilisant les histogrammes des angles des normales à la texture. La valeur moyenne de ces deux critères constitue le critère moyen d'usure qui est d'autant plus faible que le revêtement est usagé.

La progression d'usure est validée pour l'ensemble des images synthétiques de même que pour les 4 échantillons de la banque d'images réelles. Toutefois, dans ce dernier cas, il sera nécessaire de tester la méthode d'une part, sur un nombre plus conséquent d'images réelles de revêtements routiers usés et d'autre part pour des phénomènes d'usure différents, tels que l'apparition de fissure, de déformation de la chaussée... En outre, pour améliorer la pertinence du critère moyen, nous envisageons de développer des pré-traitements permettant la mise en évidence de la micro texture.

