



**HAL**  
open science

# Reconstruction photométrique d'une surface rugueuse à partir d'une seule image

David Helbert, Benjamin Bringier, Majdi Khoudeir

► **To cite this version:**

David Helbert, Benjamin Bringier, Majdi Khoudeir. Reconstruction photométrique d'une surface rugueuse à partir d'une seule image. Workshop Caractérisation multi-échelle de la rugosité, Oct 2007, Poitiers, France. hal-00337467

**HAL Id: hal-00337467**

**<https://hal.science/hal-00337467v1>**

Submitted on 4 Apr 2023

**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.

# RECONSTRUCTION PHOTOMETRIQUE D'UNE SURFACE RUGUEUSE À PARTIR D'UNE SEULE IMAGE

D. HELBERT, B. BRINGIER, M. KHOUDEIR

Laboratoire SIC, Université de Poitiers, BP 30179 - 86962 Futuroscope-Chasseneuil Cedex, France

## Introduction

L'analyse 3D de surfaces rugueuses par des méthodes sans contact n'est pas courante dans la littérature, pourtant il existe de nombreuses applications telles que le contrôle non destructif, l'analyse de surface, la reconnaissance de visage... La méthode actuellement la plus performante est l'acquisition de la surface avec un système laser [1]. Nous présentons dans ce papier une nouvelle approche pour obtenir le cartographie d'une surface rugueuse. Pour cela, nous utilisons un appareil photographique numérique et les principes de la stéréovision photométrique qui consiste à reconstruire une surface 3D à partir de plusieurs images acquises avec différents éclairages. La méthode proposée utilise uniquement une seule image pour reconstruire la surface et elle s'appuie sur la décomposition spectrale du capteur. Le principe théorique de la reconstruction photométrique est numériquement facile à implémenter mais l'utilisation d'un système multispectral n'est pas simple à mettre en oeuvre. Tout d'abord, nous introduisons le principe théorique de la stéréovision photométrique, puis nous présentons le principe de la méthode à partir d'une seule image. Enfin, nous illustrons les performances de notre approche à l'aide de résultats de reconstruction 3D de surface réelles.

## 1- Le principe théorique de la stéréovision photométrique

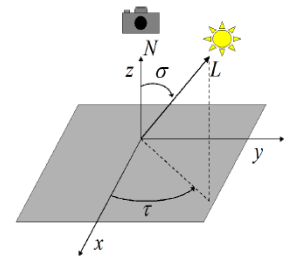
### 1-1- Le modèle Lambertien

Dans notre étude, les surfaces à reconstruire sont considérées comme purement Lambertiennes, ce qui signifie qu'elles réfléchissent la lumière dans toutes les directions. Nous considérons donc que la surface a une fonction de réflectance homogène. Pour une source ponctuelle située à l'infini, l'intensité réfléchie d'un point de la surface est proportionnelle à l'angle entre la normale à la surface et à la direction de l'éclairage :

$$I = I_0 \rho \cos(\theta) = I_0 \rho (\mathbf{N} \cdot \mathbf{L})$$

avec

- $I$  : l'intensité réfléchie,
- $I_0$  : l'intensité incidente,
- $\rho$  : l'albedo, coefficient qui représente la proportion de lumière en fonction de la lumière incidente,
- $\mathbf{N}$  : le vecteur normal à la surface,
- $\mathbf{L}$  : le vecteur orienté vers la source lumineuse.



J. Woodham a montré dans [2] que les dérivés partielles de la surface,  $p$  et  $q$ , peuvent être déterminées à partir de trois acquisitions de la même scène sous trois différents angles d'incidences lumineuses. Ainsi, un système de trois équations peut être défini :

$$i_k(x, y) = \rho(x, y) i_0 \frac{p S_{kx} + q S_{ky} - S_{kz}}{\sqrt{p^2 + q^2 + 1}}$$

$$S_{kx} = -\cos \tau_k \sin \sigma, S_{ky} = -\sin \tau_k \sin \sigma \text{ and } S_{kz} = \cos \sigma$$

où  $k=\{1,2,3\}$ ,  $\tau$  et  $\sigma$  sont respectivement l'azimut et le zénith de la source lumineuse.

## 1-2- Détermination du champs de gradients

Les équations précédentes possèdent trois variables inconnues dont deux sont relatives aux variations locales du relief ( $p$  et  $q$ ) et une relative aux caractéristiques colorimétriques de la surface  $L(x,y)$ . Le problème est donc de résoudre un système de trois équations linéairement indépendantes avec trois variables inconnues.

Pour produire ces trois équations, nous avons besoin de déterminer les trois inconnues. Ainsi, nous faisons l'acquisition de trois images à partir de la même surface sous trois angles d'incidence différents. Pour éviter l'apparition de phénomènes d'ombrage dans les images, nous éclairons la surface avec un angle d'incidence faible.

Nous exprimons ainsi les variations de la surfaces à travers les dérivées partielles des hauteurs  $z$  par rapport à  $x$  et par rapport à  $y$ . Nous obtenons alors le relief  $z(x, y)$  pour tous les points de la surface en utilisant l'intégration numérique

La reconstruction 3D d'une surface à partir d'un champ de gradients non intégrable peut être obtenue par la méthode de Frankot-Chellappa [3]. La transformée de Fourier de la surface  $S$  peut être calculée de la façon suivante :

$$S(u, v) = \frac{-juP(u, v) - jvQ(u, v)}{u^2 + v^2}$$

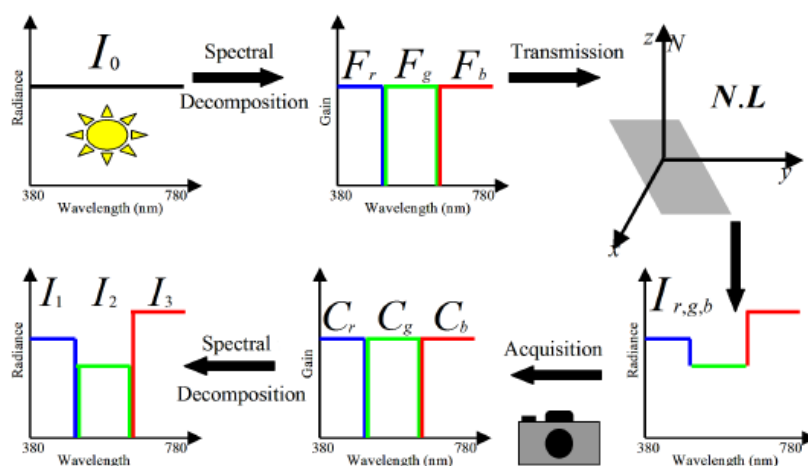
où  $(u,v)$  différent de  $(0,0)$ ,  $P$  (resp.  $Q$ ) est la transformée de Fourier de  $p$  (resp.  $q$ )

## 2- La stéréovision photométrique à partir d'une seule image

### 2-1- Principe

Le principe de la stéréovision photométrique à partir d'une seule image est très simple. Une surface est illuminée par trois sources de lumière dissociées spectralement : une source rouge, une verte et une bleu. Suivant la géométrie de la surface, l'énergie provenant des sources de lumière ne réfléchissent pas de la même manière, chaque facette de la surface apparaît alors plus ou moins colorée avec une couleur dominante qui correspond à son orientation par rapport aux sources de lumière.

Suivant l'orientation de la facette de la surface ( $p$  et  $q$ ), les trois spectres issues des sources de lumières sont plus ou moins réfléchies. Ainsi le spectre résultant code l'information géométrique de la facette en fonction de l'énergie résultant les courtes, moyennes et hautes longueurs d'ondes.

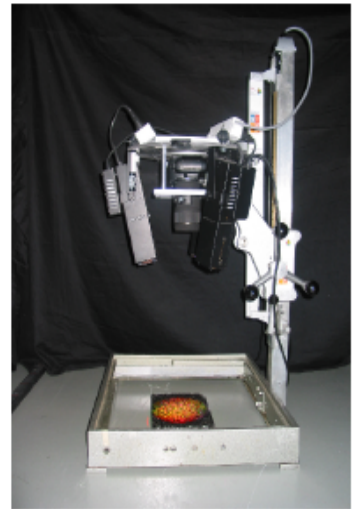


*Principe de reconstruction photométrique à partir d'une seule image*

## 2-2- Système d'acquisition

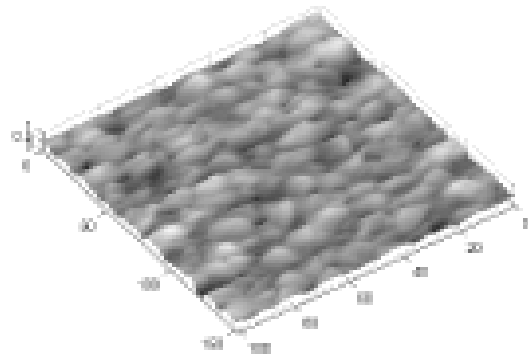
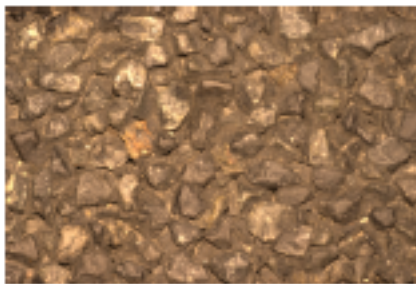
Pour réaliser le système d'extraction du relief de la surface, nous utilisons un appareil photographique numérique *Nikon D100* et un objectif *Sigma 150mm EX DG F2.8 Macro* avec trois lampes à décharges. La taille de la surface analysée est de 142x115mm avec une précision de 47x57 $\mu$ m. Pour obtenir des sources de lumière colorées qui émettent en partie dans le spectre du visible, les filtres de couleur sont placés devant les lampes.

De plus, sur un système numérique d'acquisition couleur, la sensibilité spectrale de chaque voie peut être superposée sur au moins une autre voie. Par exemple, le vert se superpose spectralement au rouge et au bleu. Ainsi une caractérisation spectrale précise des éléments constituant la chaîne d'acquisition est nécessaire. Pour cela, nous utilisons le spectrocolorimètre PR650 de PhotoResearch pour l'analyse spectrale. La méthode de Hardeberg proposée dans [4] est appliquée avec 74 patches de la mire de MacBeth pour caractériser la sensibilité spectrale de la caméra.



## 3- Résultats

Nous présentons ici l'acquisition d'une surface rugueuse réelle correspondant à une partie d'une route goudronnée. Nous appliquons ensuite l'algorithme de reconstruction de la surface afin d'obtenir la géométrie de celle-ci.



*Acquisition couleur et la cartographie correspondante*

## Conclusion

Nous avons présenté un système d'acquisition permettant d'obtenir la carte des hauteurs d'une image éclairée à l'aide de trois lampes colorées. L'extraction du relief se fait avec le principe de la stéréovision photométrique. Actuellement, nos travaux consistent à développer un système d'acquisition dynamique pour l'analyse cartographique de surface de grande taille.

## Références

- [1] H. Zahouani, R. Vargiolu, and M.-T. Do, "Characterization of micro texture related to wet road/tire friction" in "AIPCR/PIARC," (2000), pp. 195–205.
- [2] R. Woodham, "Photometric method for determining surface orientation from multiple images", *Optical engineering* 19, 139–144 (1980).
- [3] R. Frankot and R. Chellappa, "A method for enforcing integrability in shape from shading algorithms", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 10, 439–451 (1988).
- [4] J. Hardeberg, "Acquisition and reproduction of colour images: Colorimetric and multispectral approaches," Ph.D. thesis, Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications, Paris, France (1999).