

Système de reconstruction 3D par imagerie polarimétrique

Olivier Morel

Laboratoire Le2i - UMR CNRS 5158
12, rue de la Fonderie - 71200 Le Creusot

FuturVIEW 2008 (4 et 5 décembre 2008, Grenoble)



Sommaire

- 1 Introduction
- 2 Imagerie polarimétrique
- 3 Détermination des normales
- 4 Reconstruction de la surface
- 5 Conclusion

Contexte

- Doctorat en Informatique et Instrumentation de l'Image
 - “Environnement actif pour la reconstruction tridimensionnelle de surfaces métalliques spéculaires par imagerie polarimétrique”
 - Encadré par C. Stolz et P. Gorria

Contexte

- Doctorat en Informatique et Instrumentation de l'Image
 - “Environnement actif pour la reconstruction tridimensionnelle de surfaces métalliques spéculaires par imagerie polarimétrique”
 - Encadré par C. Stolz et P. Gorria

Objectif

- Inspection de surfaces métalliques fortement réfléchissantes



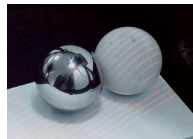
Numérisation de surfaces réfléchissantes

- Systèmes reposants sur la triangulation laser :



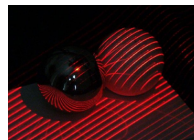
Numérisation de surfaces réfléchissantes

- Systèmes reposants sur la triangulation laser :



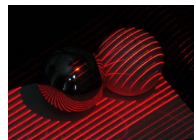
Numérisation de surfaces réfléchissantes

- Systèmes reposants sur la triangulation laser :

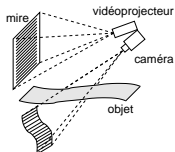


Numérisation de surfaces réfléchissantes

- Systèmes reposants sur la triangulation laser :



- Systèmes appropriés :



défectométrie



étude des déformations de motifs

Reconstruction par imagerie polarimétrique

- Extension de la technique de reconstruction par imagerie polarimétrique (Shape from Polarization) aux surfaces métalliques spéculaires

Reconstruction par imagerie polarimétrique

- Extension de la technique de reconstruction par imagerie polarimétrique (Shape from Polarization) aux surfaces métalliques spéculaires

Principe

- Etude de l'état de polarisation de la lumière réfléchie

Reconstruction par imagerie polarimétrique

- Extension de la technique de reconstruction par imagerie polarimétrique (Shape from Polarization) aux surfaces métalliques spéculaires

Principe

- Etude de l'état de polarisation de la lumière réfléchie
- Calcul des normales en tout point de la surface de l'objet

Reconstruction par imagerie polarimétrique

- Extension de la technique de reconstruction par imagerie polarimétrique (Shape from Polarization) aux surfaces métalliques spéculaires

Principe

- Etude de l'état de polarisation de la lumière réfléchie
- Calcul des normales en tout point de la surface de l'objet
- Intégration du champ de normales pour obtenir la surface

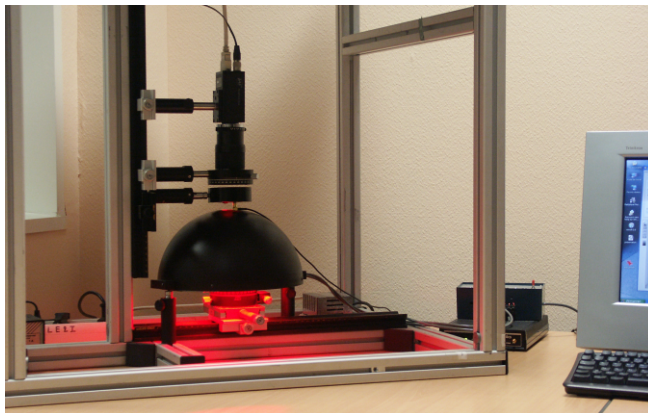
Reconstruction par imagerie polarimétrique

- Extension de la technique de reconstruction par imagerie polarimétrique (Shape from Polarization) aux surfaces métalliques spéculaires

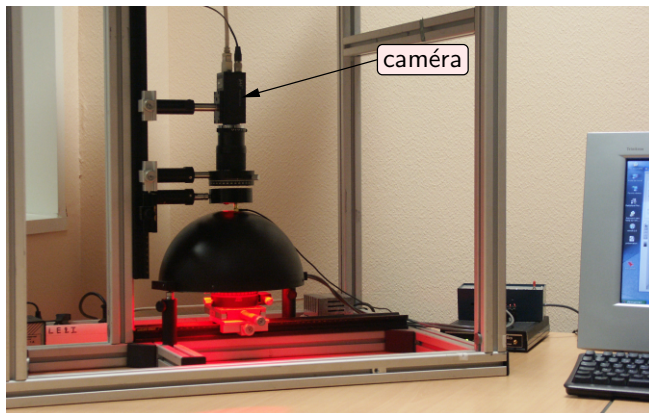
Principe

- Etude de l'état de polarisation de la lumière réfléchie
 - Calcul des normales en tout point de la surface de l'objet
 - Intégration du champ de normales pour obtenir la surface
-
- Réalisation d'un prototype automatique

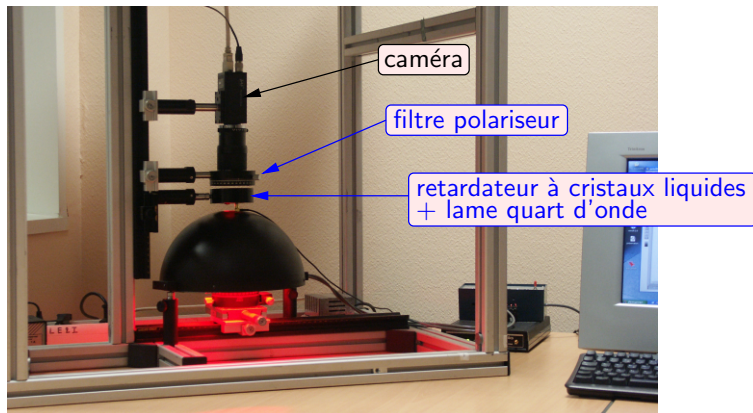
Description du prototype



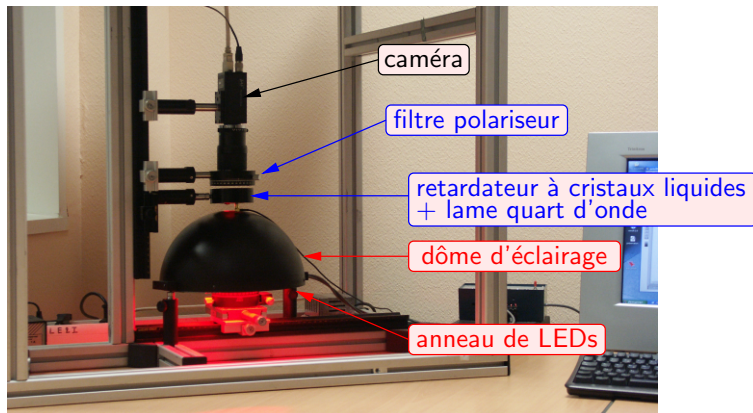
Description du prototype



Description du prototype



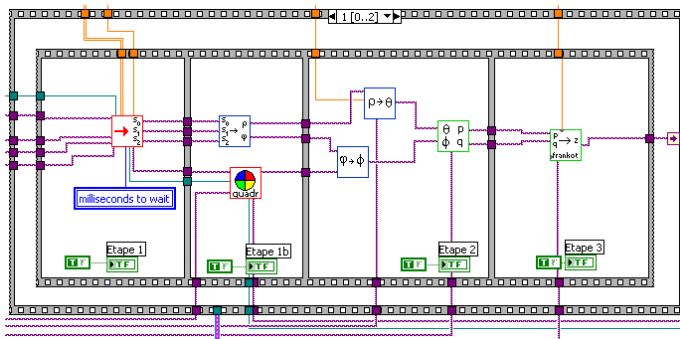
Description du prototype



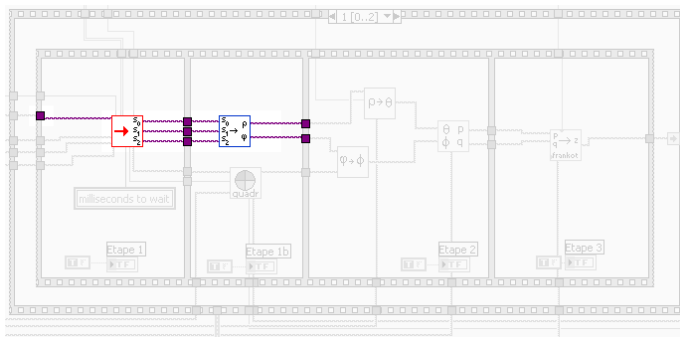
Sommaire

- 1 Introduction
- 2 Imagerie polarimétrique**
- 3 Détermination des normales
- 4 Reconstruction de la surface
- 5 Conclusion

Aperçu du programme LabVIEW



Aperçu du programme LabVIEW



Imagerie polarimétrique

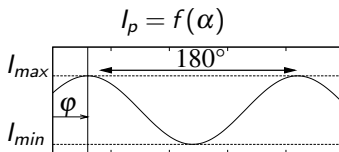
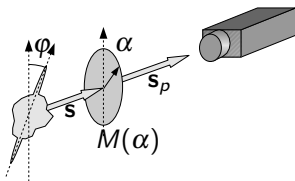
Lumière partiellement linéairement polarisée

- Trois paramètres :
 - Intensité lumineuse I
 - Degré de polarisation ρ
 - Angle de polarisation φ
- Mesures effectuées avec un polariseur tournant

Imagerie polarimétrique

Lumière partiellement linéairement polarisée

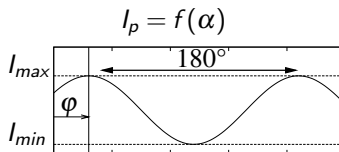
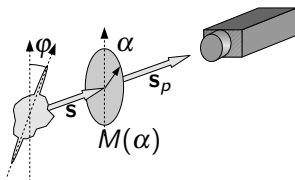
- Trois paramètres :
 - Intensité lumineuse I
 - Degré de polarisation ρ
 - Angle de polarisation φ
- Mesures effectuées avec un polariseur tournant



Imagerie polarimétrique

Lumière partiellement linéairement polarisée

- Trois paramètres :
 - Intensité lumineuse I
 - Degré de polarisation ρ
 - Angle de polarisation φ
- Mesures effectuées avec un polariseur tournant



$$I_p(\alpha) = \frac{I}{2} (1 + \rho \cdot \cos(2\alpha - 2\varphi))$$

Montage optique équivalent

Utilisation d'un retardateur variable à cristaux liquides (LCVR)



Montage optique équivalent

Utilisation d'un retardateur variable à cristaux liquides (LCVR)

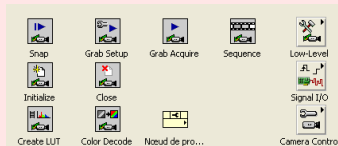
LCVR

- Boîtier de contrôle (RS 232)

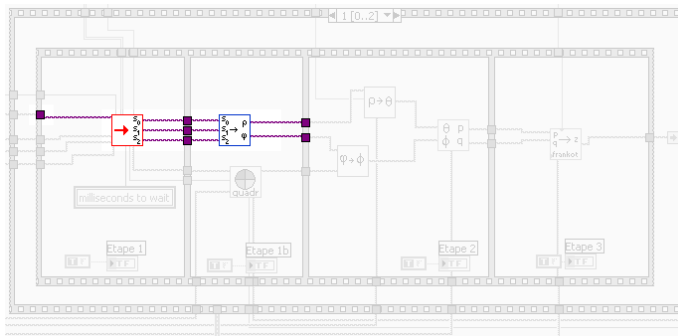


Caméra

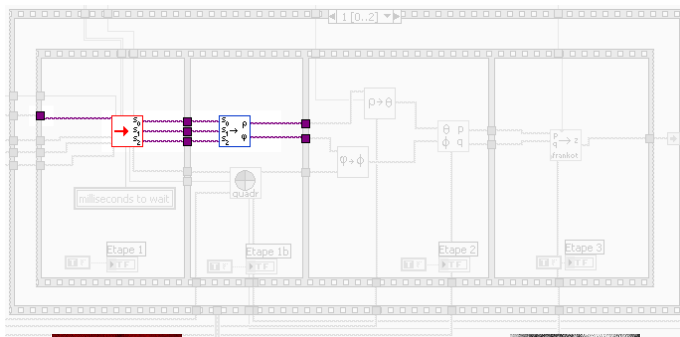
- Caméra profondeur 12 bits
- Carte NI PCI-1428



Aperçu du programme LabVIEW



Aperçu du programme LabVIEW



Degré de polarisation ρ

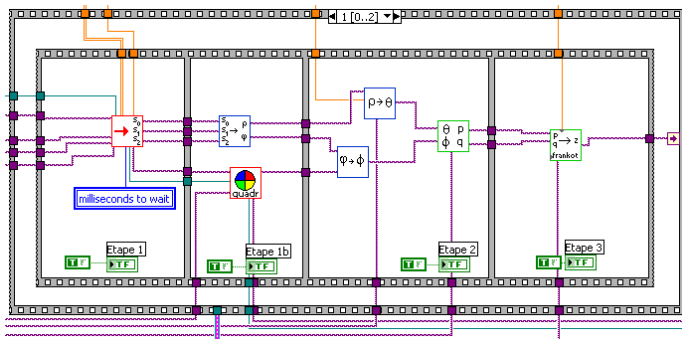


Angle de polarisation ϕ

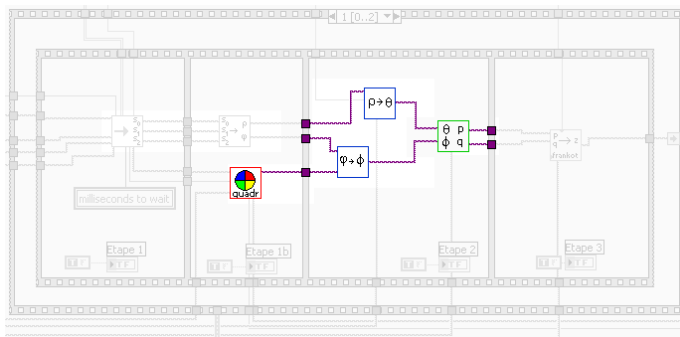
Sommaire

- 1 Introduction
- 2 Imagerie polarimétrique
- 3 Détermination des normales**
- 4 Reconstruction de la surface
- 5 Conclusion

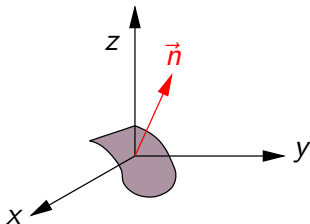
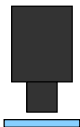
Aperçu du programme LabVIEW



Aperçu du programme LabVIEW



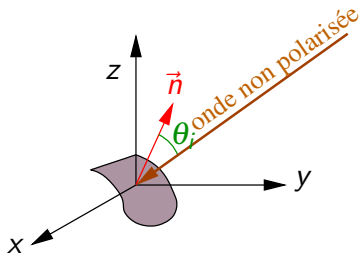
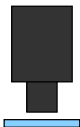
Principe physique



Conditions

- Lumière non polarisée
- Surface spéculaire
- Objectif télécentrique

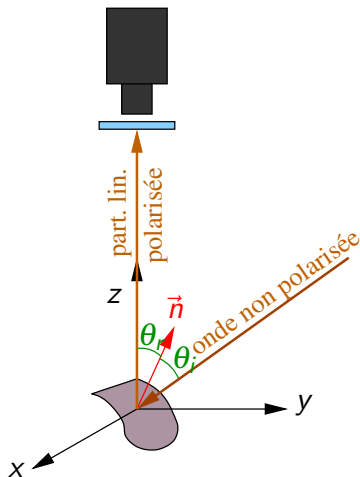
Principe physique



Conditions

- Lumière non polarisée
- Surface spéculaire
- Objectif télécentrique

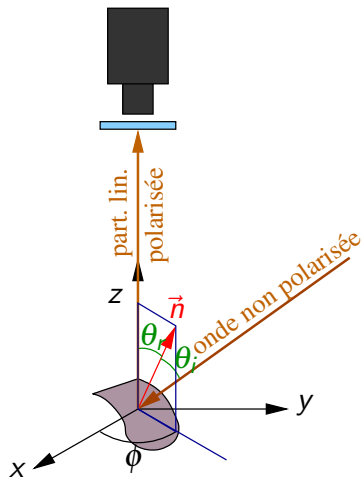
Principe physique



Conditions

- Lumière non polarisée
- Surface spéculaire
- Objectif télécentrique

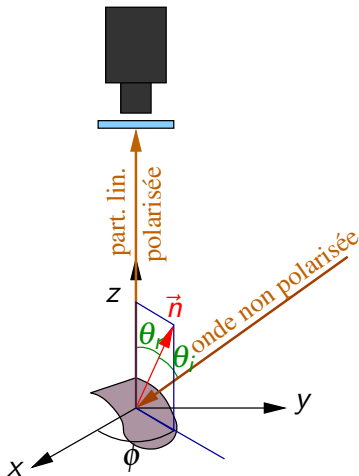
Principe physique



Conditions

- Lumière non polarisée
- Surface spéculaire
- Objectif télécentrique

Principe physique

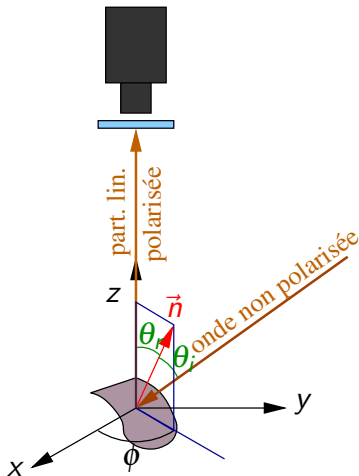


Conditions

- Lumière non polarisée
- Surface spéculaire
- Objectif télécentrique

$$\vec{n} = \begin{pmatrix} p = \tan \theta_r \cos \phi \\ q = \tan \theta_r \sin \phi \\ 1 \end{pmatrix} \Rightarrow (\phi, \theta_r)?$$

Principe physique



Conditions

- Lumière non polarisée
- Surface spéculaire
- Objectif télécentrique

$$\vec{n} = \begin{pmatrix} p = \tan \theta_r \cos \phi \\ q = \tan \theta_r \sin \phi \\ 1 \end{pmatrix} \Rightarrow (\phi, \theta_r)?$$

Coefficients de Fresnel :

- Angle de polarisation : $\varphi \Rightarrow \phi$
- Degré de polarisation : $\rho \Rightarrow \theta_r$

Relations physiques

- Degré de polarisation ρ et angle zénithal θ :

$$\rho = f(\theta, \hat{n})$$

Relations physiques

- Degré de polarisation ρ et angle zénithal θ :

$$\rho = f(\theta, \hat{n})$$

- Angle de polarisation φ et angle azimutal ϕ :

La lumière réfléchie est partiellement linéairement polarisée orthogonalement au plan d'incidence.

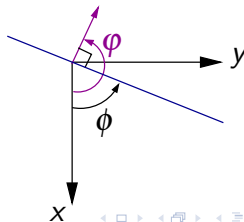
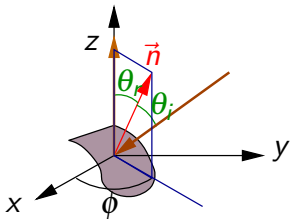
Relations physiques

- Degré de polarisation ρ et angle zénithal θ :

$$\rho = f(\theta, \hat{n})$$

- Angle de polarisation φ et angle azimutal ϕ :

La lumière réfléchie est partiellement linéairement polarisée orthogonalement au plan d'incidence.



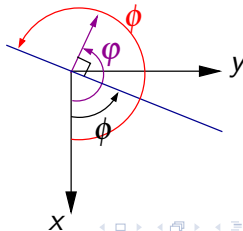
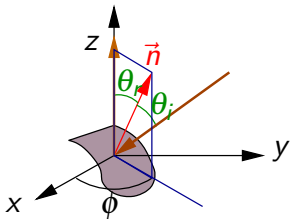
Relations physiques

- Degré de polarisation ρ et angle zénithal θ :

$$\rho = f(\theta, \hat{n})$$

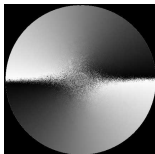
- Angle de polarisation φ et angle azimutal ϕ :

La lumière réfléchie est partiellement linéairement polarisée orthogonalement au plan d'incidence.



Ambiguïté sur la détermination de la normale

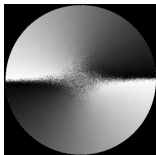
- Cas d'une sphère métallique éclairée par une source lumineuse uniforme non-polarisée



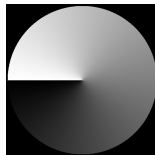
Angle de polarisation φ défini $[\pi]$

Ambiguïté sur la détermination de la normale

- Cas d'une sphère métallique éclairée par une source lumineuse uniforme non-polarisée



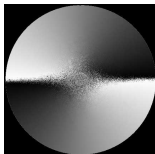
Angle de polarisation φ défini $[\pi]$



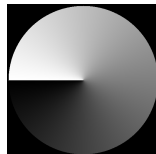
Angle azimutal théorique ϕ défini $[2\pi]$

Ambiguïté sur la détermination de la normale

- Cas d'une sphère métallique éclairée par une source lumineuse uniforme non-polarisée



Angle de polarisation φ défini $[\pi]$

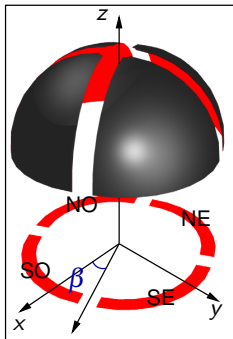


Angle azimutal théorique ϕ défini $[2\pi]$

But de l'éclairage actif

Segmenter les points de la surface dont la normale est orientée dans les demi-espaces haut et bas.

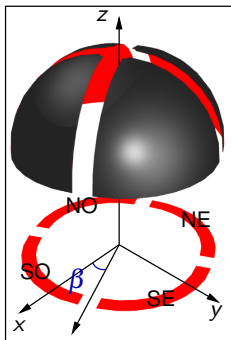
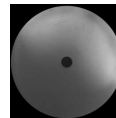
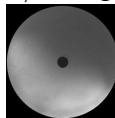
Éclairage actif



$$\beta \in]0, \pi/2[$$

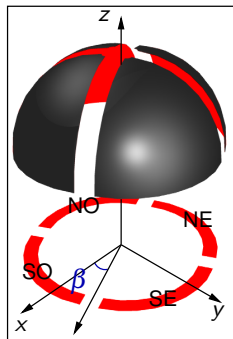
Éclairage actif

- E/O Segmentation :



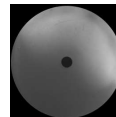
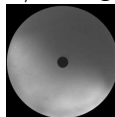
$$\beta \in]0, \pi/2[$$

Éclairage actif

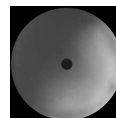
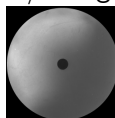


$$\beta \in]0, \pi/2[$$

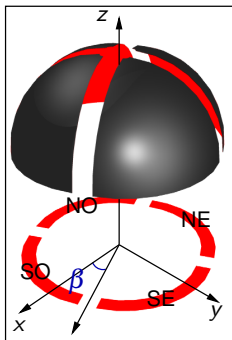
- E/O Segmentation :



- N/S Segmentation :

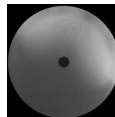
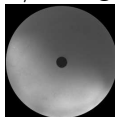


Éclairage actif



$$\beta \in]0, \pi/2[$$

- E/O Segmentation :



- N/S Segmentation :

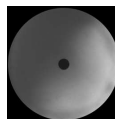
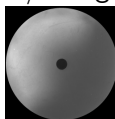
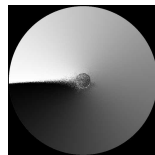
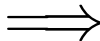
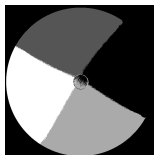
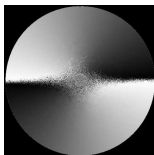


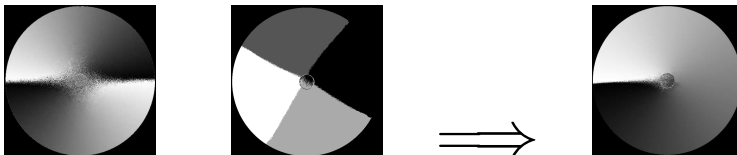
Image segmentée I_{quad} :



Levée de l'ambiguïté



Levée de l'ambiguïté

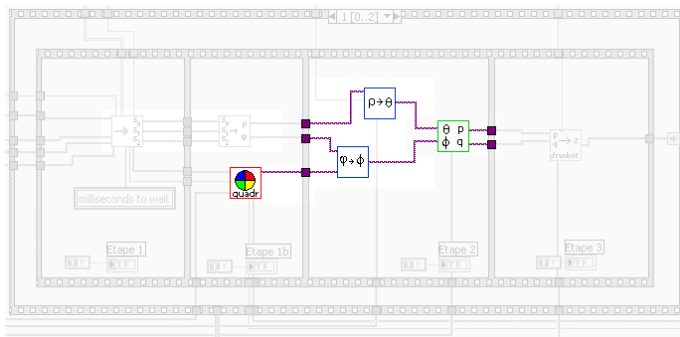


Commande éclairage

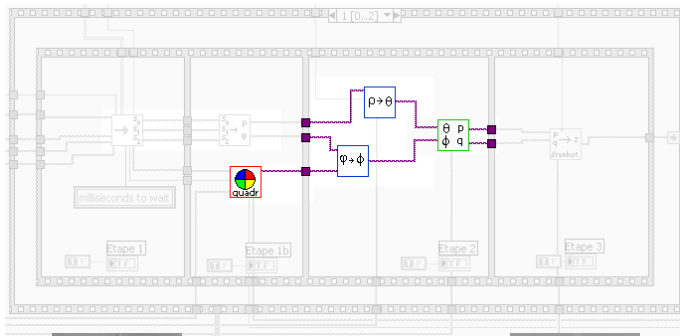
- Liaison port parallèle



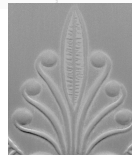
Aperçu du programme LabVIEW



Aperçu du programme LabVIEW



Composante p de la normale

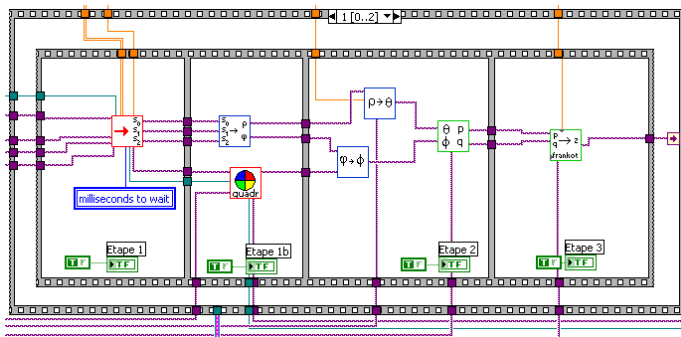


Composante q de la normale

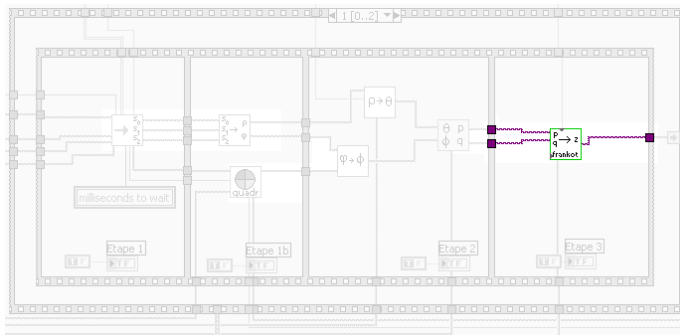
Sommaire

- 1 Introduction
- 2 Imagerie polarimétrique
- 3 Détermination des normales
- 4 Reconstruction de la surface**
- 5 Conclusion

Aperçu du programme LabVIEW



Aperçu du programme LabVIEW



Algorithme d'intégration reposant sur la transformée de Fourier

Aperçu du programme LabVIEW

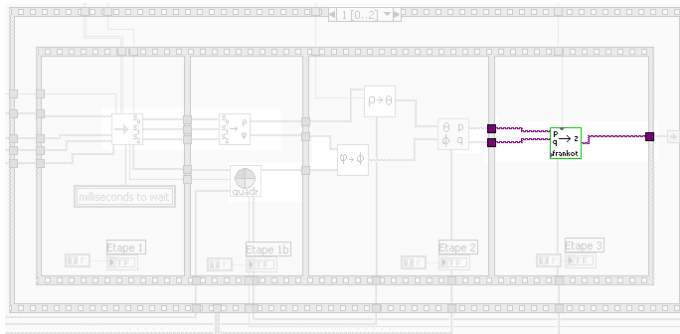
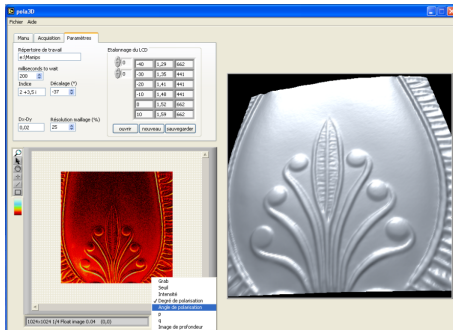
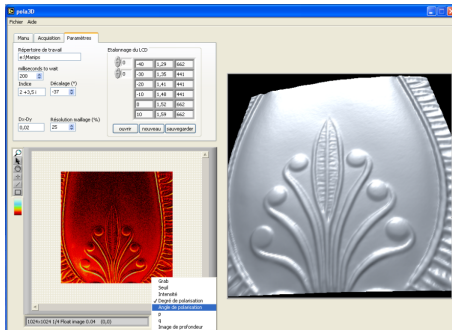


Image de profondeur de la surface

Rendu 3D

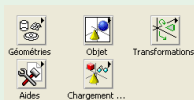


Rendu 3D



Rendu 3D

- Bibliothèque Contrôle 3D



Application : numérisation et inspection 3D

- Objet de référence :



- Objet à inspecter :



Application : numérisation et inspection 3D

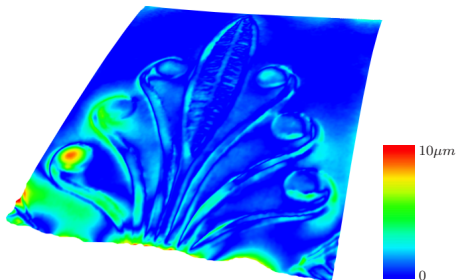
- Objet de référence :



- Objet à inspecter :



- Carte de déviation :



Sommaire

- 1 Introduction
- 2 Imagerie polarimétrique
- 3 Détermination des normales
- 4 Reconstruction de la surface
- 5 Conclusion**

Conclusion

- Prototype de reconstruction 3D par imagerie polarimétrique
 - Mesure des paramètres de polarisation
 - Calcul des normales en tout point
 - Intégration du champ de normales

Conclusion

- Prototype de reconstruction 3D par imagerie polarimétrique
 - Mesure des paramètres de polarisation
 - Calcul des normales en tout point
 - Intégration du champ de normales
- Logiciel entièrement développé sous LabVIEW
 - carte NI PCI 1428 et bibliothèques IMAQ pour le traitement d'images
 - bibliothèque VISA pour la commande du retardateur
 - bibliothèque "Contrôle 3D" pour le rendu 3D

Vidéo

