Reconstruction 3D de la Tapisserie de Bayeux
&
Alignement d’image par minimisation de rang

Matthieu Pizenberg
Yvain Quéau
Abderrahim Elmoataz

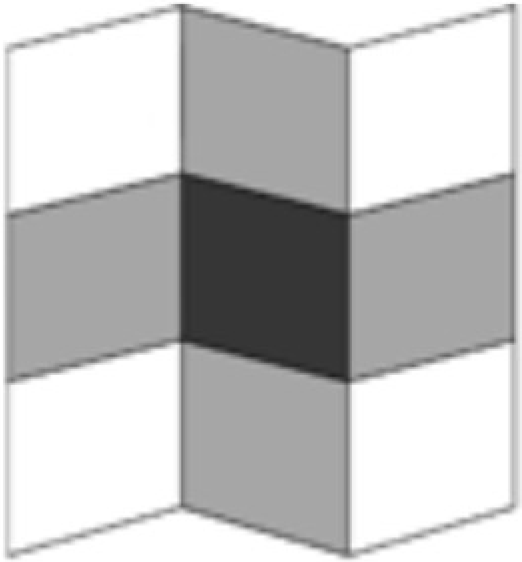
***** Shape from Shading (SfS) *****

Stéréophotométrie

Tapisserie de Bayeux

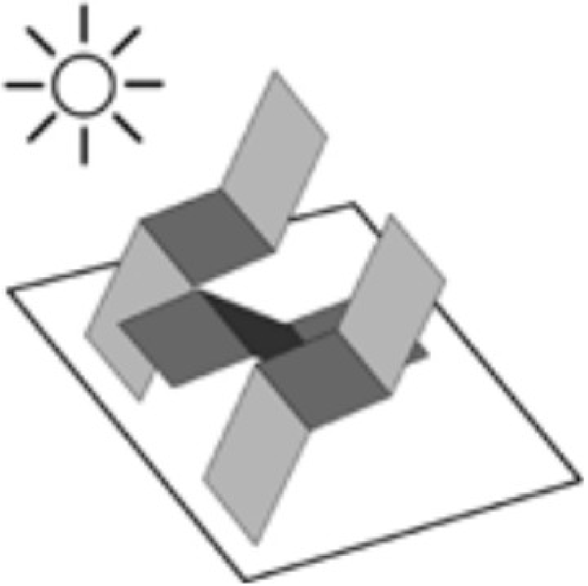
Recalage par minimisation de rang

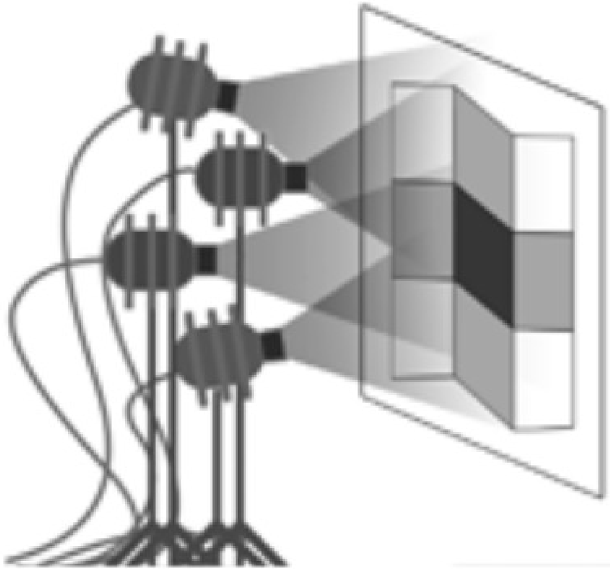
Shape from Shading (SfS)



Comment interpréter cette image ?

Shape from Shading (SfS) – un problème mal posé

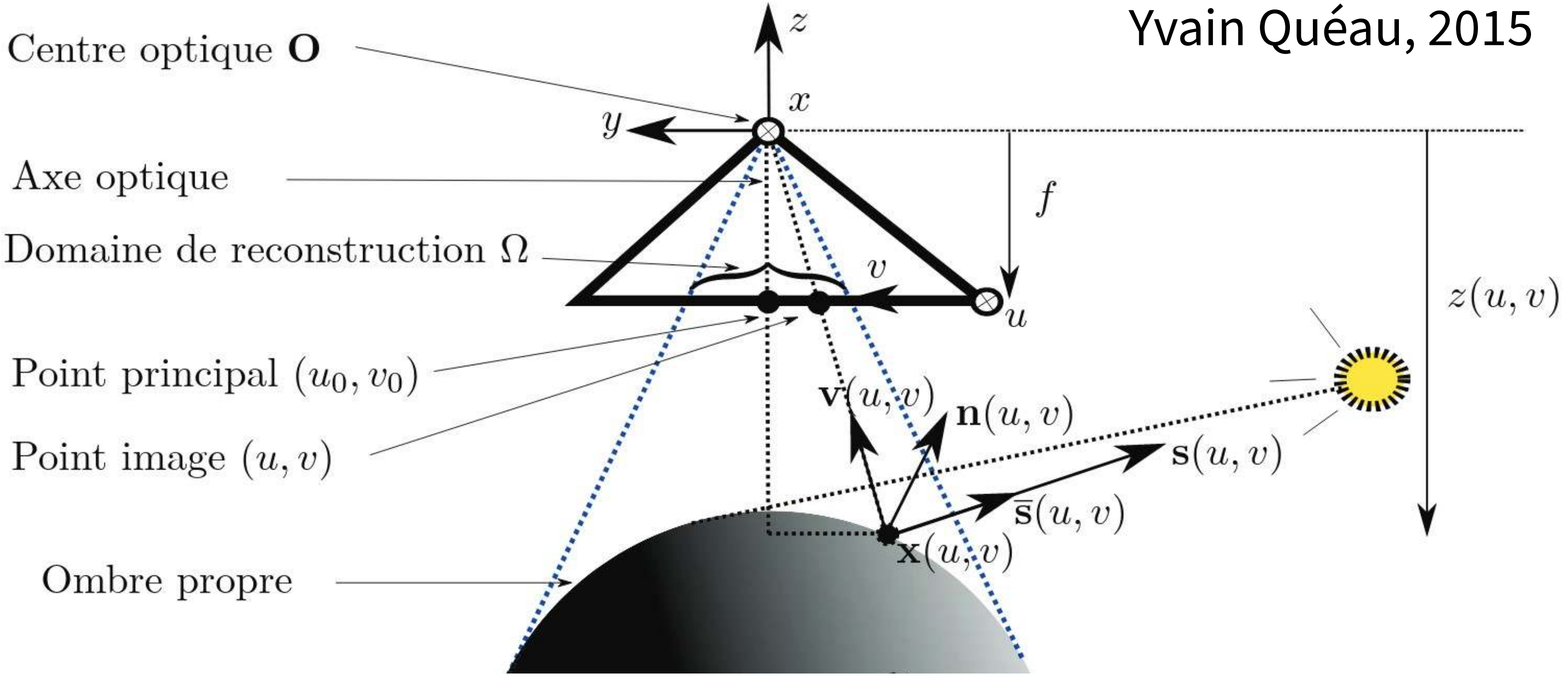




Explication du sculpteur, du peintre, du chef éclairagiste.

Shape from Shading (SfS)

Yvain Quéau, 2015



$$I^1(u, v) = \rho(u, v) \max\{0, \mathbf{s}^1 \cdot \mathbf{n}(u, v)\}$$

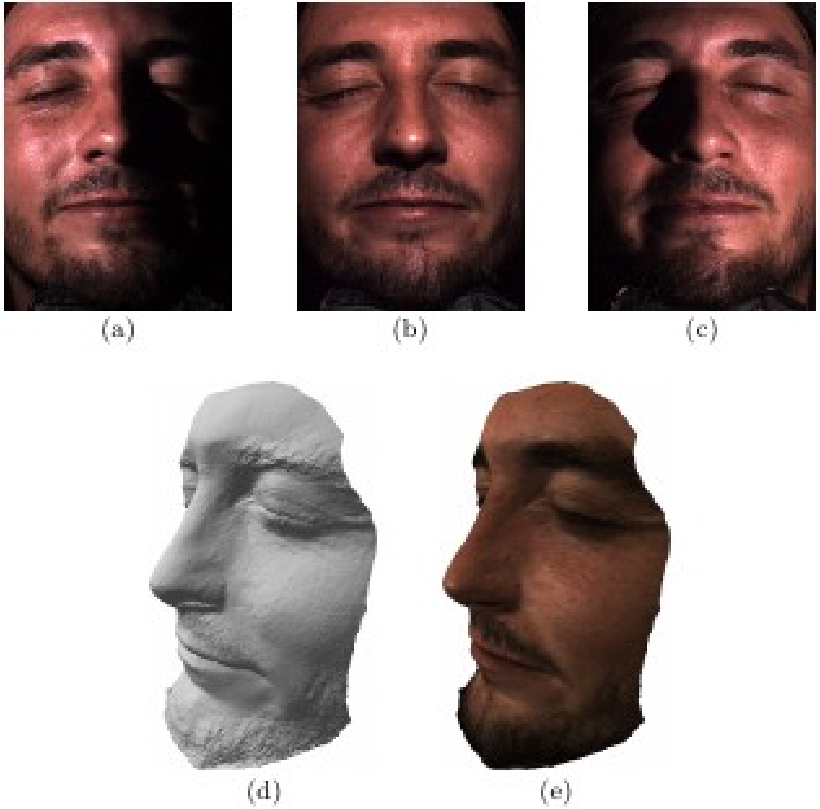
Shape from Shading (SfS)

*** **Stéréophotométrie** ***

Tapisserie de Bayeux

Recalage par minimisation de rang

Stéréophotométrie – faire varier l’éclairage

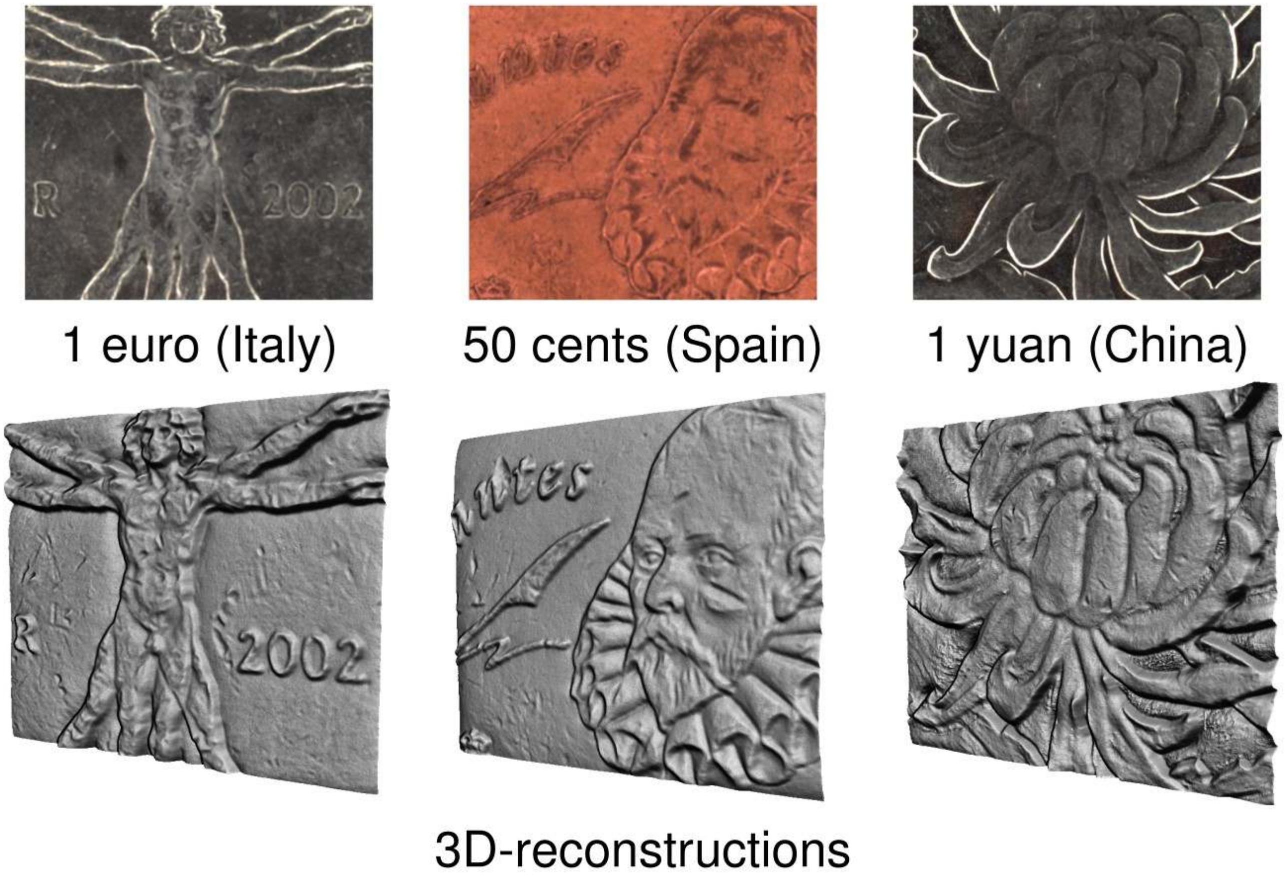


Stéréophotométrie – un problème bien posé

$$\begin{cases} I^1(u,v) = \rho(u,v)\max\{0, \mathbf{s}^1 \cdot \mathbf{n}(u,v)\} \\ \vdots \\ I^m(u,v) = \rho(u,v)\max\{0, \mathbf{s}^m \cdot \mathbf{n}(u,v)\} \end{cases}$$

$$\underbrace{\begin{bmatrix} I^1(u,v) \\ \vdots \\ I^m(u,v) \end{bmatrix}}_{\mathbf{i}(u,v)\in\mathbb{R}^m} = \underbrace{\begin{bmatrix} \mathbf{s}^{1\top} \\ \vdots \\ \mathbf{s}^{m\top} \end{bmatrix}}_{\mathbf{S}\in\mathbb{R}^{m\times 3}} \underbrace{\begin{bmatrix} \rho(u,v)\mathbf{n}(u,v) \end{bmatrix}}_{\mathbf{m}(u,v)\in\mathbb{R}^3}$$

Stéréophotométrie



Stéréophotométrie

Stéréophotométrie microscopique sans démosaïquage, Quéau et al. , GRETSI 2017

Avantages :

- appareil photo standard
- grande précision de mesure de profondeur
- nombre d’images par scène raisonable (3 – 15 environ)

Inconvénients :

- éclairage variable
- méthode moins connue, pas de logiciel libre grand public

Shape from Shading (SfS)

Stéréophotométrie

*****   Tapisserie de Bayeux   *****

Recalage par minimisation de rang

Guide muséal inclusif

Tapisserie de Bayeux, œuvre essentiellement visuelle

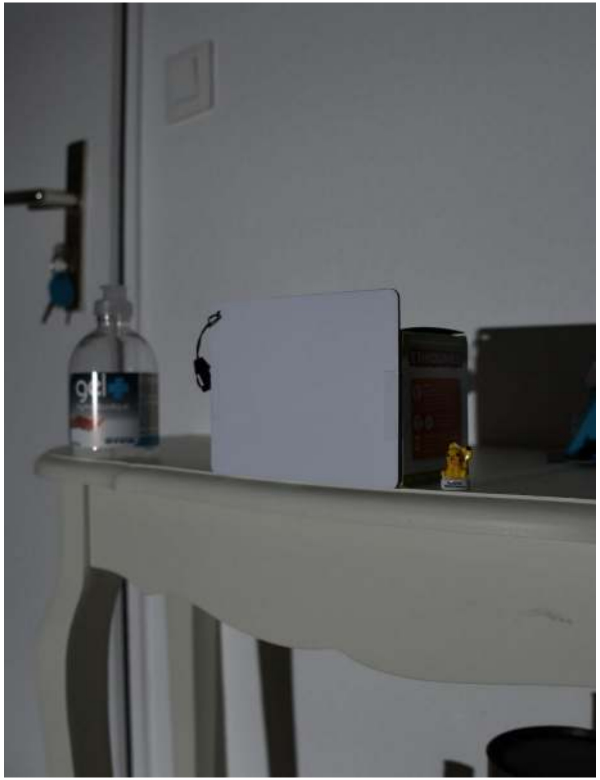
Acteurs du projet IMG : GREYC (Caen), LITIS (Rouen), Musée de la Tapisserie de Bayeux, ihrim (Lyon), RHUL (Londres), Associations de PPIV (Normandie-Lorrain, AVH, FAF)

Stéréophotométrie – préparations

Stéréophotométrie – préparations

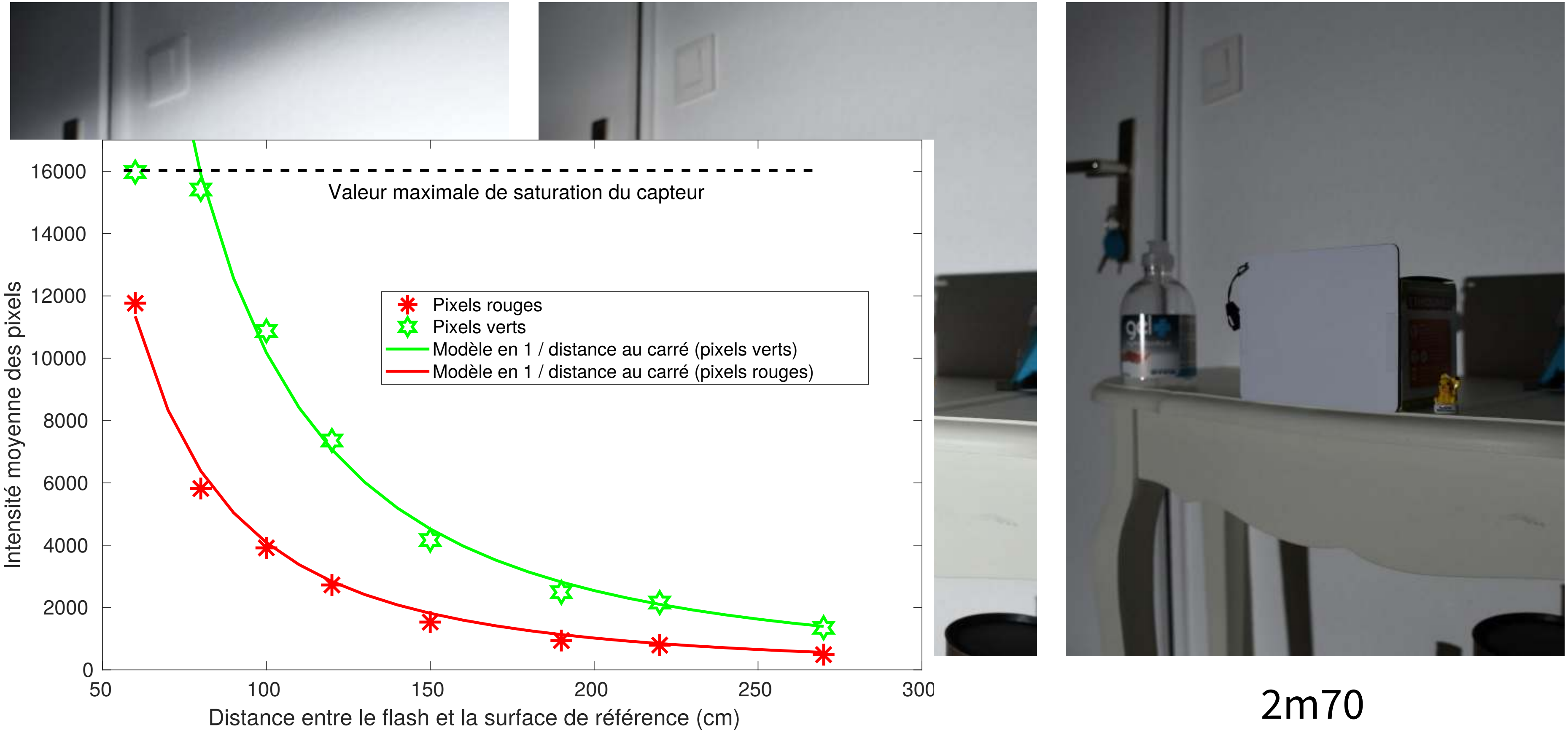
Flash à 60 cm

1m50



2m70

Stéréophotométrie – préparations



2m70

Stéréophotométrie – acquisition (Bayeux 13/01/2021)

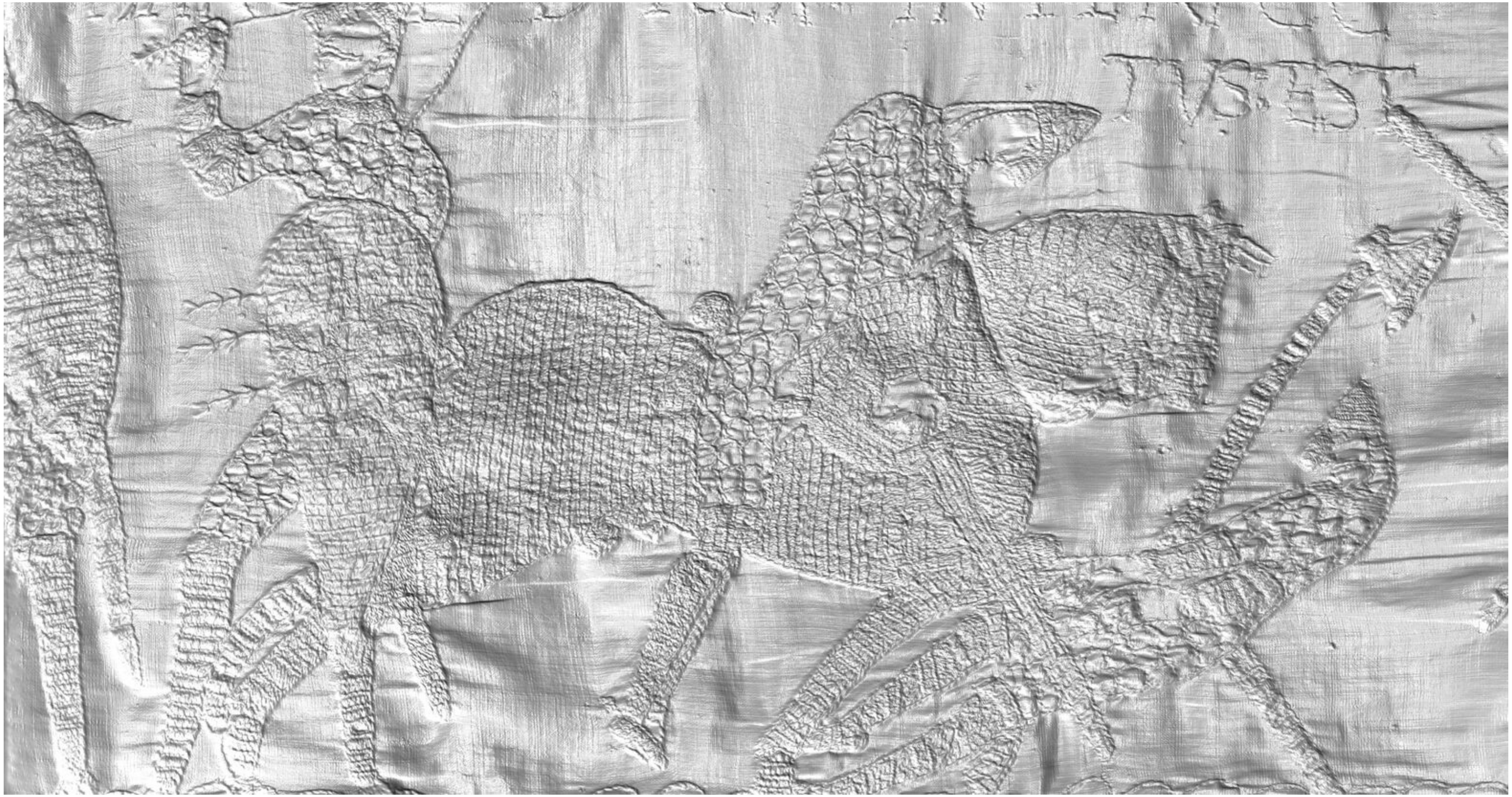
Stéréophotométrie – acquisition (Bayeux 13/01/2021)

Stéréophotométrie – Tapisserie de Bayeux

Stéréophotométrie – Tapisserie de Bayeux

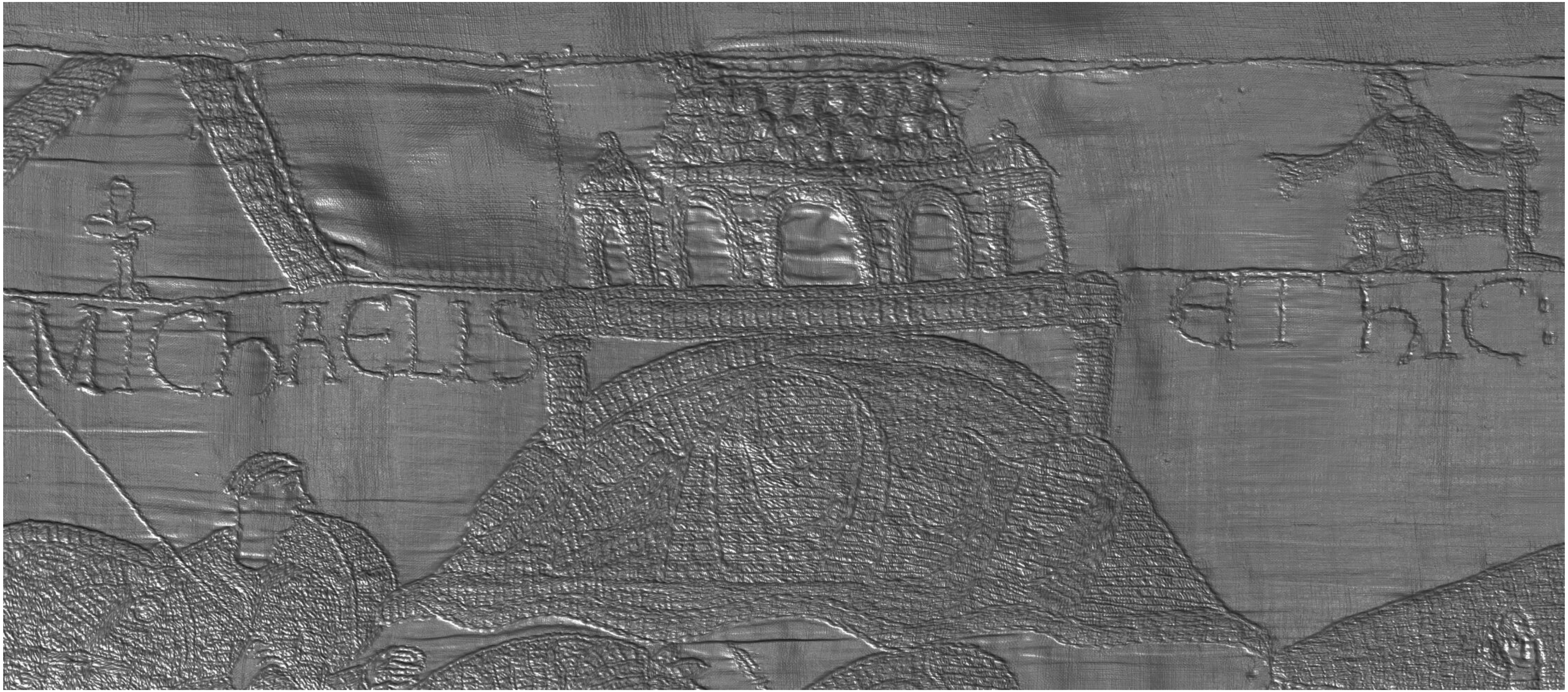
Stéréophotométrie – Tapisserie de Bayeux

Stéréophotométrie – Tapisserie de Bayeux



Stéréophotométrie – Tapisserie de Bayeux

Stéréophotométrie – Tapisserie de Bayeux



Shape from Shading (SfS)

Stéréophotométrie

Tapisserie de Bayeux

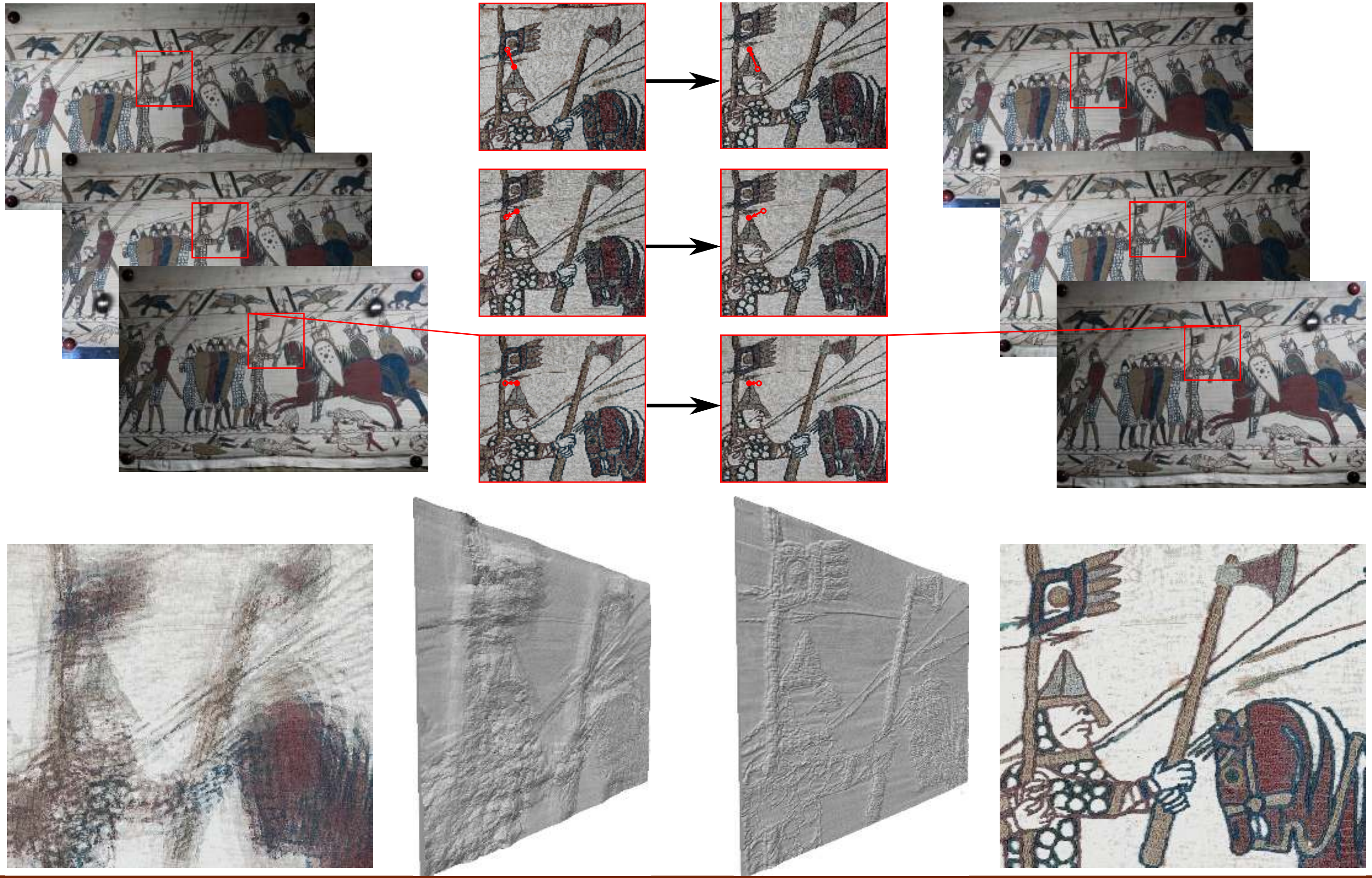
*****   Recalage par minimisation de rang   *****

Stéréophotométrie – recalage

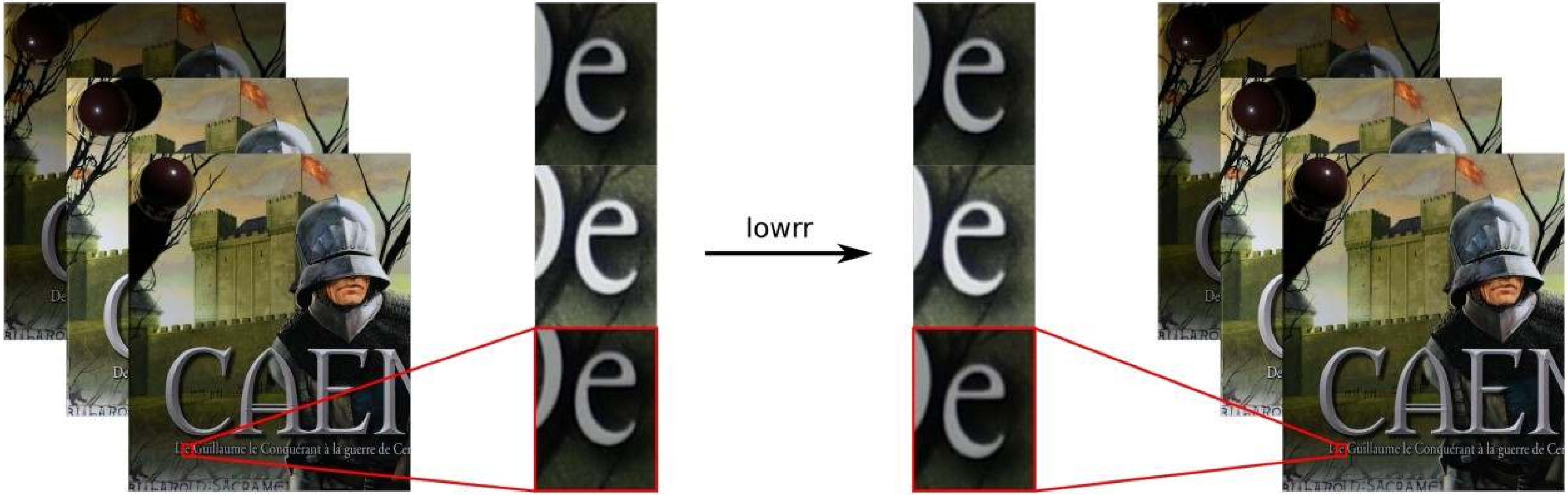
$$\begin{cases} I^1(u,v) = \rho(u,v)\max\{0, \mathbf{s}^1 \cdot \mathbf{n}(u,v)\} \\ \vdots \\ I^m(u,v) = \rho(u,v)\max\{0, \mathbf{s}^m \cdot \mathbf{n}(u,v)\} \end{cases}$$

Les pixels de toutes les images 1 à m doivent se correspondre exactement !

Stéréophotométrie – recalage



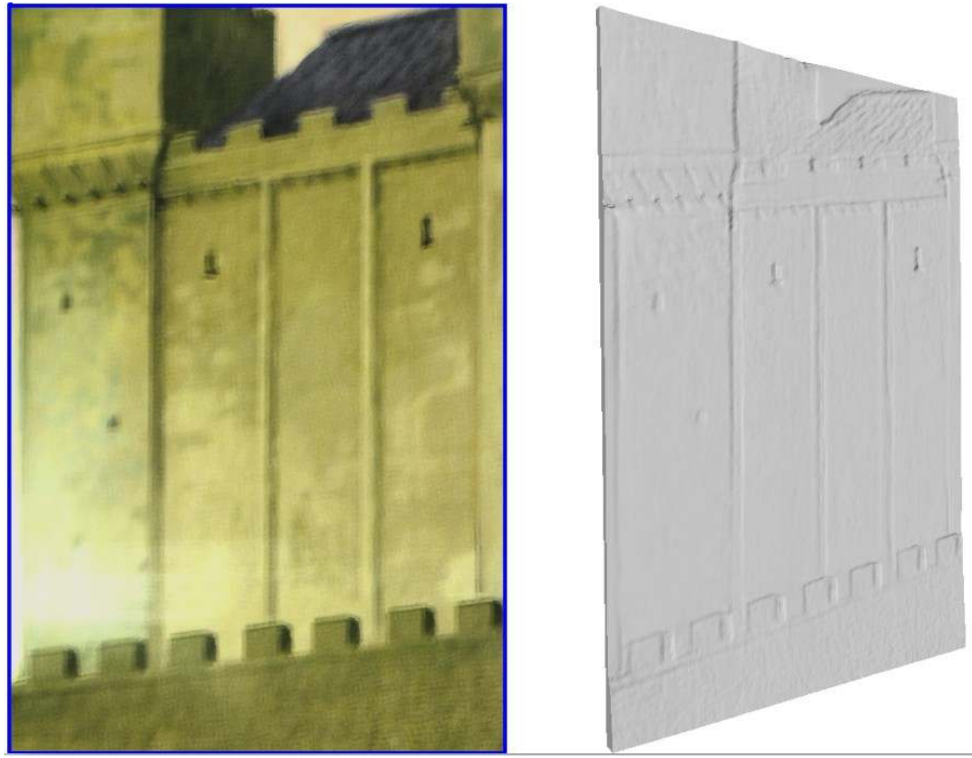
Stéréophotométrie – recalage



slightly misaligned images with varying lighting

registered with lowrr

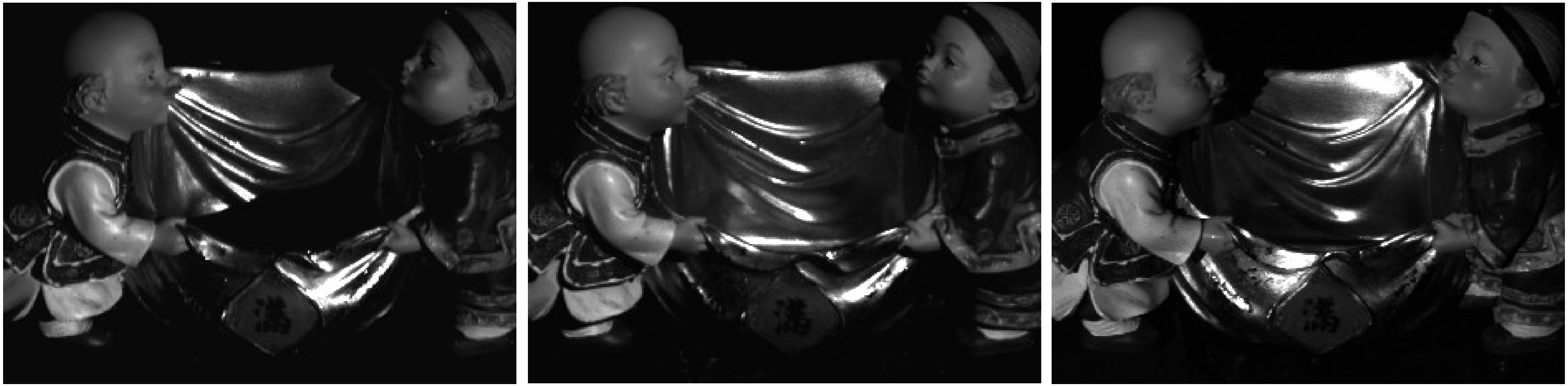
Stéréophotométrie – recalage



Hallucination de relief

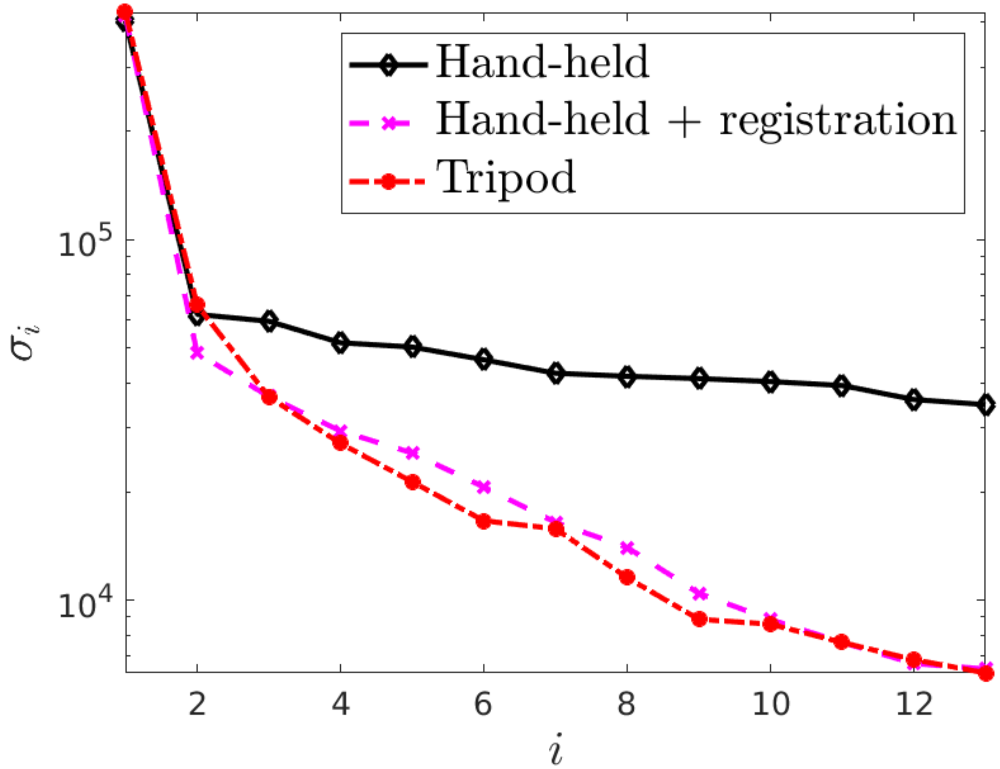
« vrai » relief plat après alignement

Stéréophotométrie – difficulté du recalage



La difficulté : variations d'intensités lumineuses, ombres propres et reflets spéculaires

Recalage par minimisation de rang (SSVM 2021)



Valeurs singulières de la matrice image concaténée

Recalage par minimisation de rang (SSVM 2021)

$$\min_{\substack{A \in \mathbb{R}^{n\times m} \\ \theta \in \mathbb{R}^{mp}}} \quad \text{rank}\,(A) + \lambda \,\|\text{vec}(A) - W(u;\theta)\|_0$$

Minimisation du rang

$$\min_{\substack{A \in \mathbb{R}^{n\times m} \\ \theta \in \mathbb{R}^{mp}}} \quad \|A\|_\star + \lambda \,\|\text{vec}(A) - W(u;\theta)\|_1$$

forme relachée

$$\min_{\substack{A \in \mathbb{R}^{n\times m} \\ e \in \mathbb{R}^{mn} \\ \theta \in \mathbb{R}^{mp}}} \quad \|A\|_\star + \lambda \,\|e\|_1 \,, \qquad \text{s.t.} \quad \text{vec}(A) = W(u;\theta) + e \,.$$

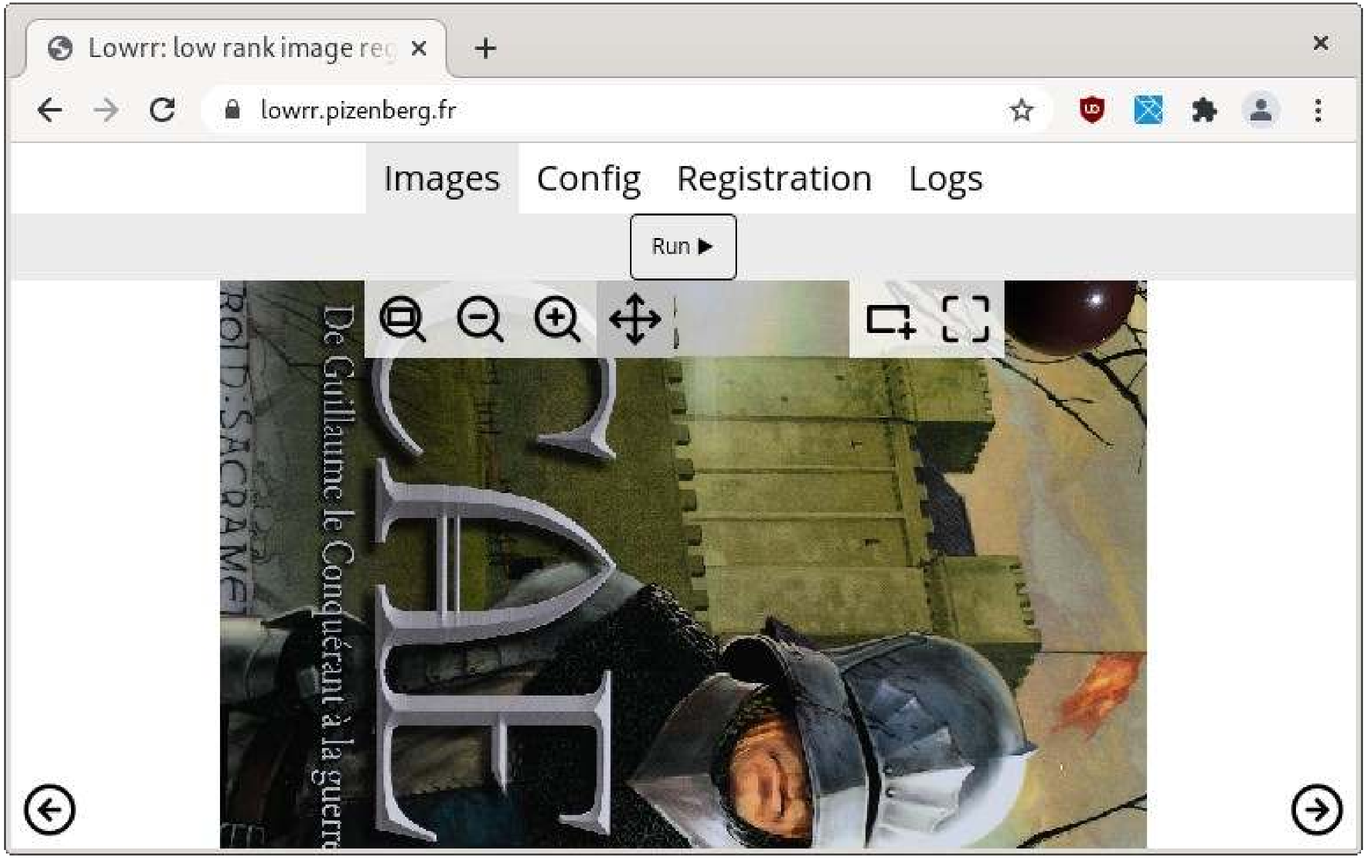
reformulée
sous contrainte

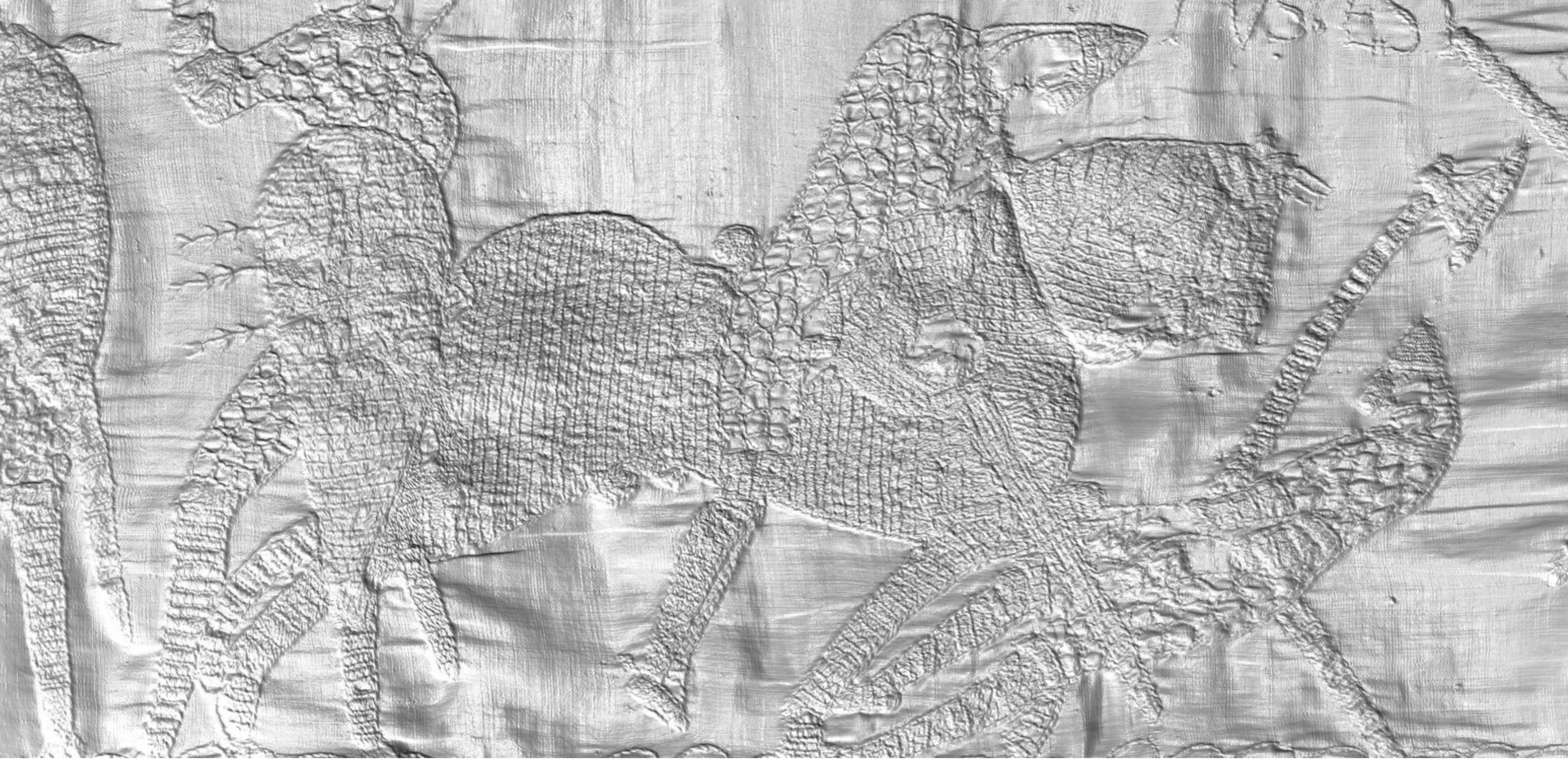
Recalage par minimisation de rang (SSVM 2021)

$$\mathcal{L}^{\sharp}_{\rho}(A, e, \theta, y) := \|A\|_{\star} + \lambda \|e\|_1 + \langle y | W(u;\theta) + e - \mathrm{vec}(A) \rangle + \frac{\rho}{2} \|W(u;\theta) + e - \mathrm{vec}(A)\|^2$$

$$\begin{aligned}
A^{(k+1)} &= \underset{A}{\mathrm{argmin}} \ \mathcal{L}^{\sharp}_{\rho}(A, e^{(k)}, \theta^{(k)}, y^{(k)}),\\
e^{(k+1)} &= \underset{e}{\mathrm{argmin}} \ \mathcal{L}^{\sharp}_{\rho}(A^{(k+1)}, e, \theta^{(k)}, y^{(k)}),\\
\theta^{(k+1)} &= \underset{\theta}{\mathrm{argmin}} \ \mathcal{L}^{\sharp}_{\rho}(A^{(k+1)}, e^{(k+1)}, \theta, y^{(k)}),\\
y^{(k+1)} &= y^{(k)} + \rho \left(W(u;\theta^{(k+1)}) + e^{(k+1)} - \mathrm{vec}(A^{(k+1)}) \right),
\end{aligned}$$

Démo : lowrr.pizenberg.fr





Merci pour votre attention, Des questions ?