



GREYC

Traitement et Analyse d'images et de Nuages de points 3D: Applications à la Valorisation du Patrimoine

Abderrahim Elmoataz

Abderrahim.elmoataz@unicaen.fr



Numérisation du patrimoine

Dans le contexte du patrimoine culturel :
données sous forme de nuages de points 3D
ou d'images sur ces nuages de points



Quelques problèmes de traitement d'images ou de
nuages de points 3D

Débruitage, simplification

Inpainting

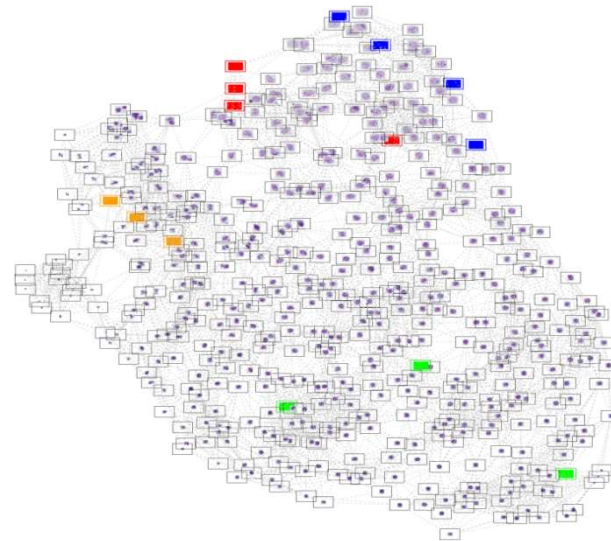
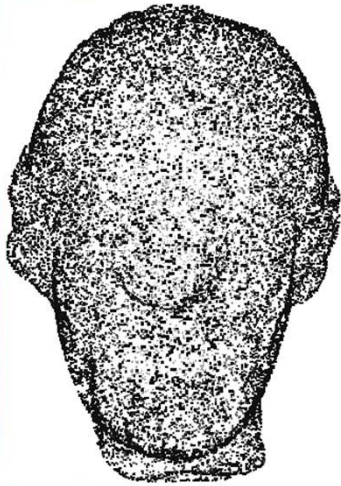
Colorisation

segmentation

Calcul de distances généralisées



Exemples de problèmes : interpolation



Exemples de problèmes : interpolation



Exemples de problèmes : recalage pour la construction de panoramas

- Example of constructed graphs : massive 3D point clouds
- Castle Caen, Normandy
- Place Napoleon, Cherbourg, Normandy



- Tapisserie de Bayeux, Normandy

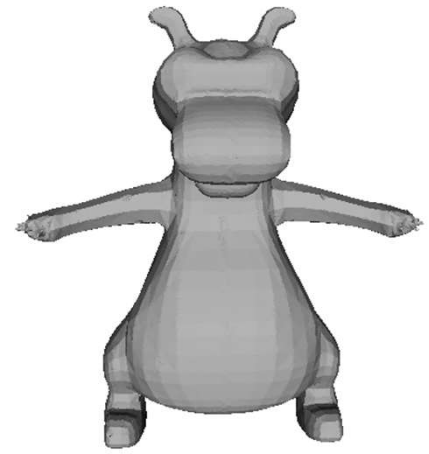
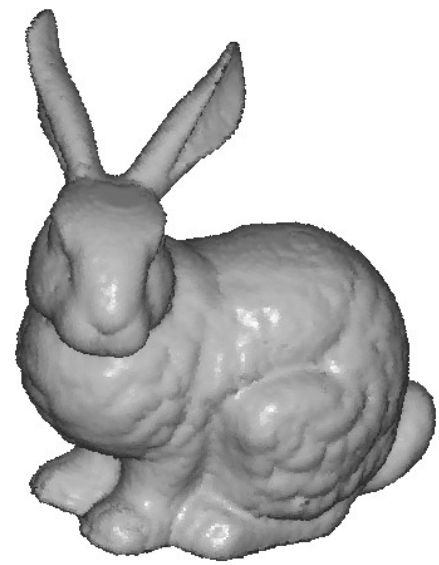
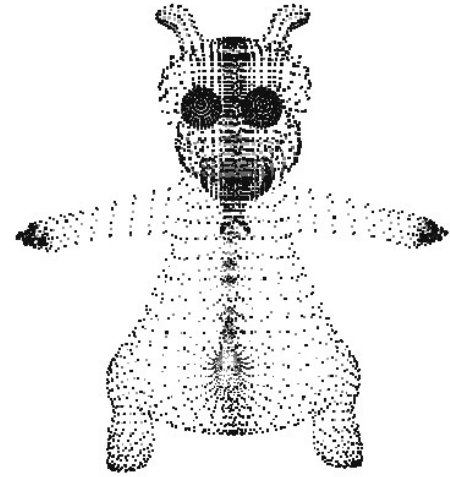
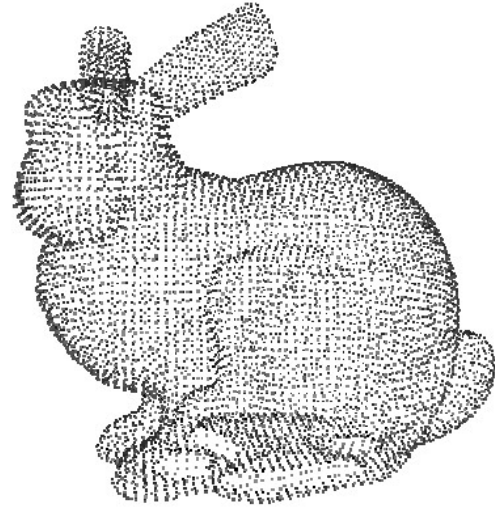
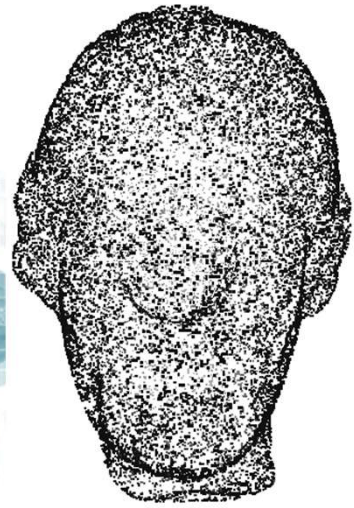


Motivations: adaptation of PDEs and Variational methods on graphs

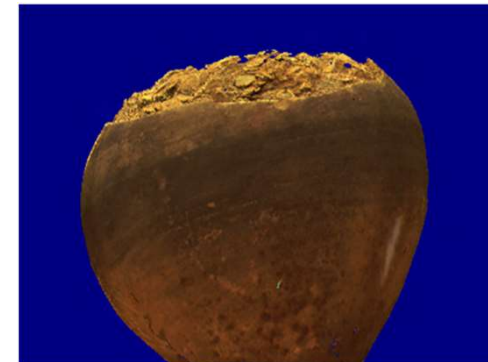
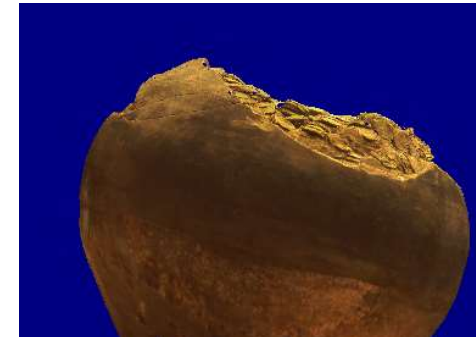
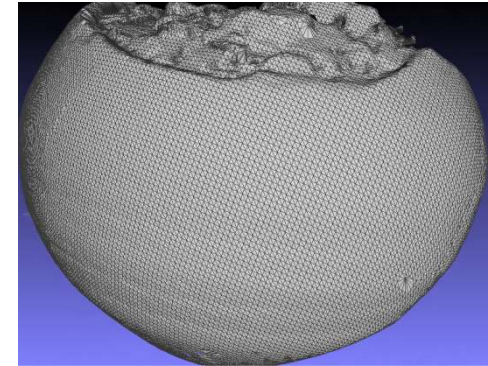
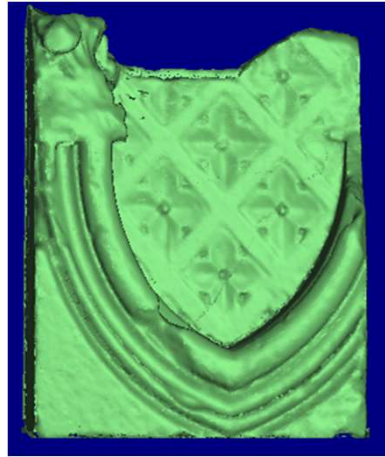
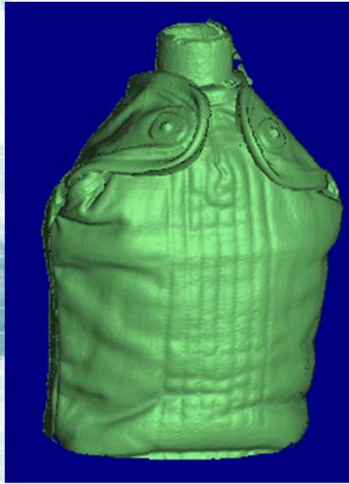


- PDEs and variational methods (VM) have been used extensively for Mathematical image processing
- Adaptation of PDEs and VM on graphs under a functional point of view
- Examples of PDEs and VM
 - p-Laplacian, infinity-Laplacian, game p-laplacian
 - Mean curvature flows level set equation
 - Hamilton-Jacobi equation
 - Total variation model
 - Mumford-shah model
 - Etc.
- Typical applications for image processing include:
 - Denoising, restauration, and simplification
 - Inpainting
 - Colorization
 - Computation of generalized distances and geodesics
 - Segmentation
 - Etc

Reconstruction des nuages des points 3D



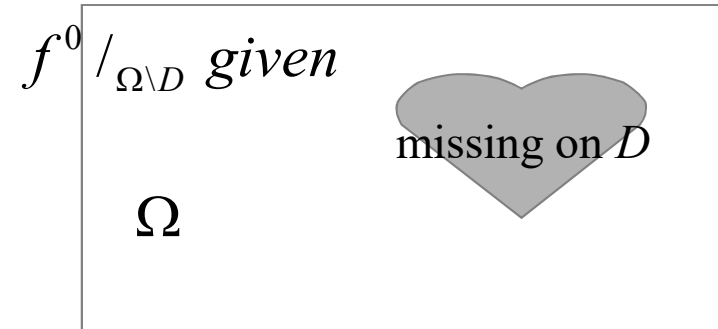
Reconstruction d'objets: musée du mémorial Caen



p-harmonic functions : interpolation on images



$$f^0 : \Omega \subset R^n \rightarrow R$$



If f minimizes $\min_f \int_D |\nabla f|^p dx$

Then as f satisfies

$$p \rightarrow \infty \quad \Delta_\infty f = \sum_{i,j} f_{ij} f_i f_j = 0 \text{ on } D$$

$$f_i = \frac{\partial f}{\partial x_i}, f_{ij} = \frac{\partial^2 f}{\partial x_i \partial x_j}$$

Infinity laplacian equation has several applications

Image processing, computer vision, optimal transportation

Related to tug-of-War game

(Aronson, Grandall, Casselles, Peres, Smart, etc)

9 Discretization : finite difference method, Oberman discretization, etc



Inpainting, colorization, classification

A general domain a Graph

f^0 is known on some subset of the graph

$$f^0 : V^0 \subset V \rightarrow R \quad D = V \setminus V_0$$

Inpainting = solution of the following dirichlet problem

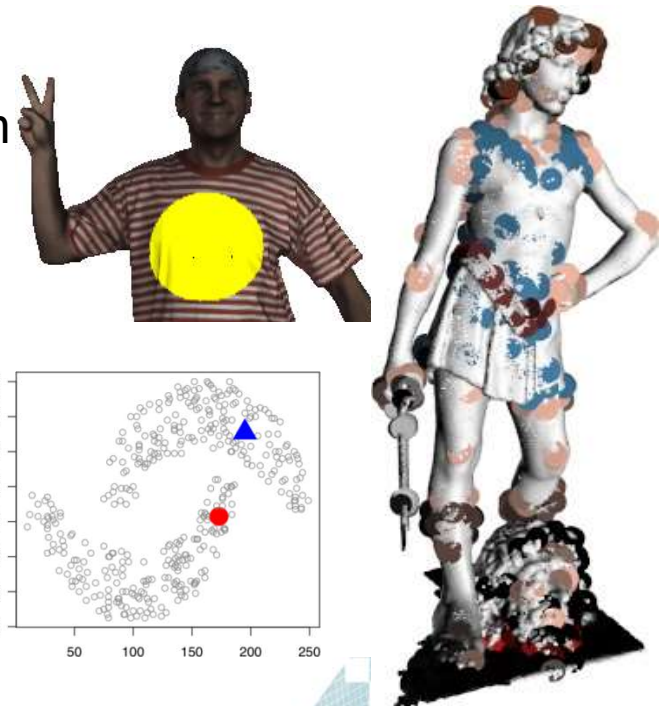
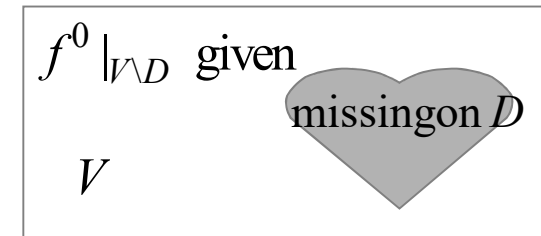
Find f $f : V \rightarrow R$

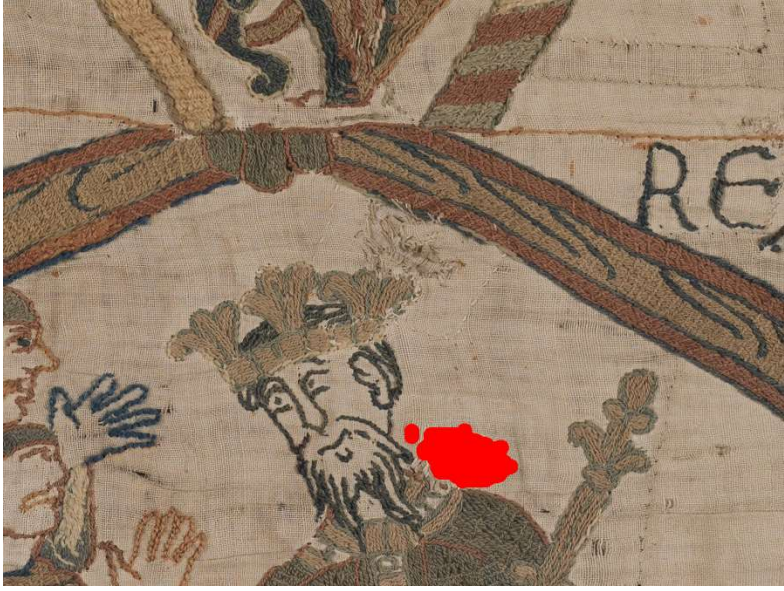
$$-\Delta_{w,\infty} f(u) = 0 \text{ sur } D = V \setminus V_0$$

$$f(u) = f^0(u) \text{ sur } \partial D$$

The Dirichlet problem has an unique solution

$$G = (V, E, w)$$







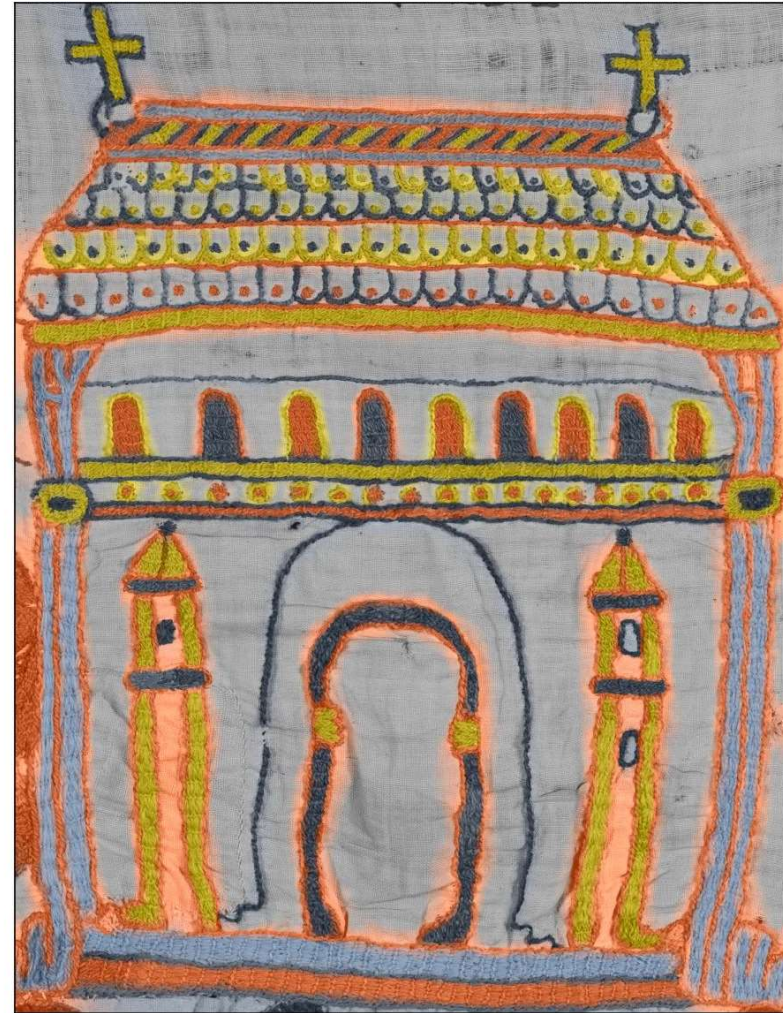


• Recalage d'images historiques

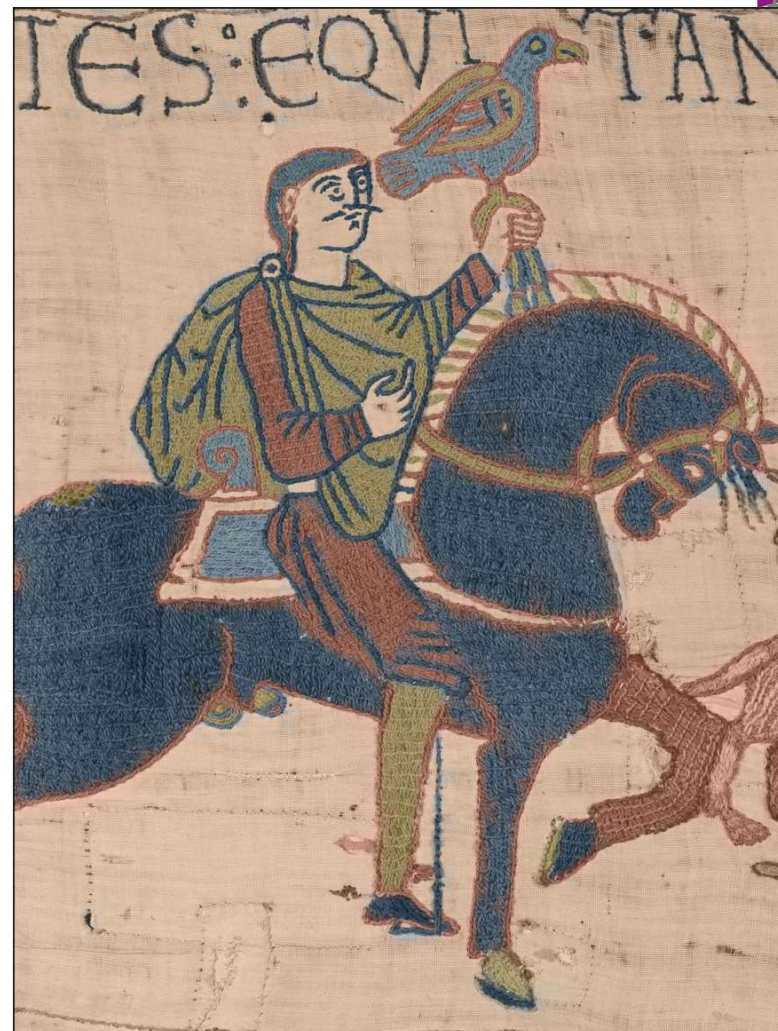


Inpainting, colorization, classification

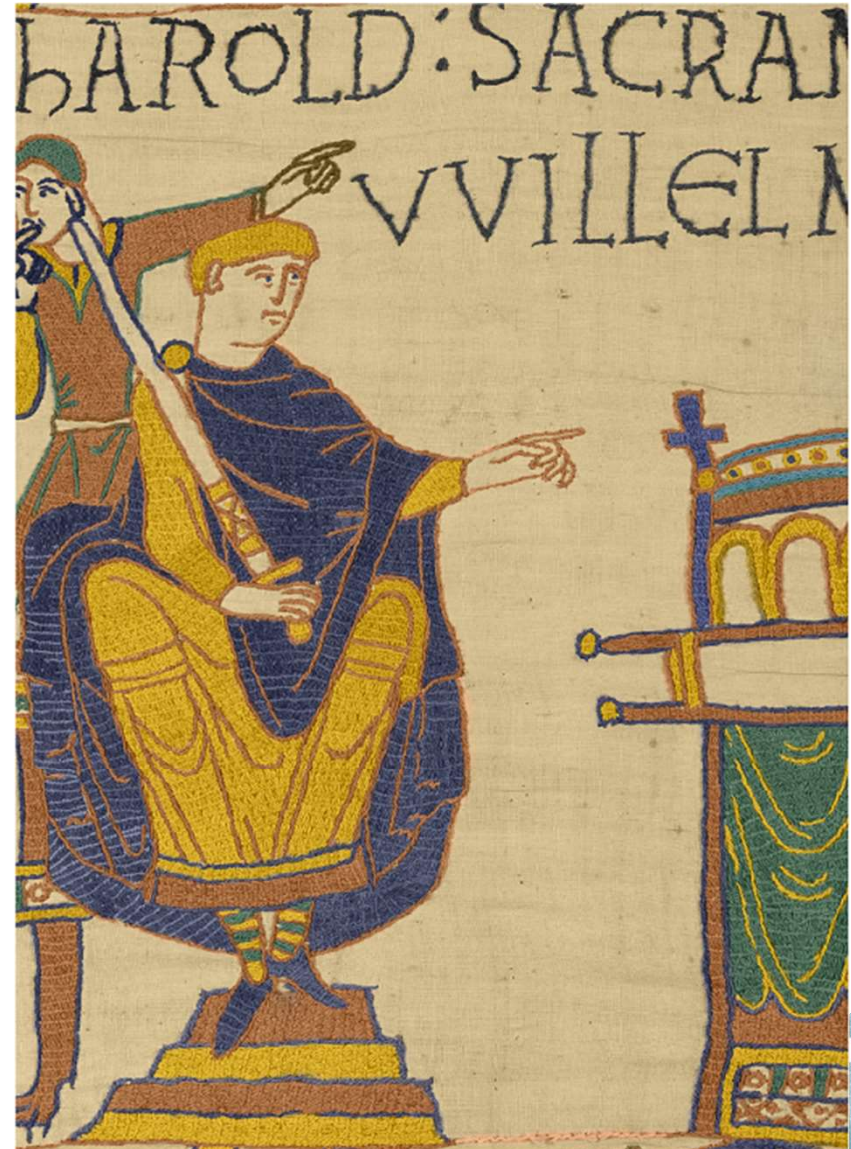




Inpainting, colorization, classification



Inpainting, colorization, classification



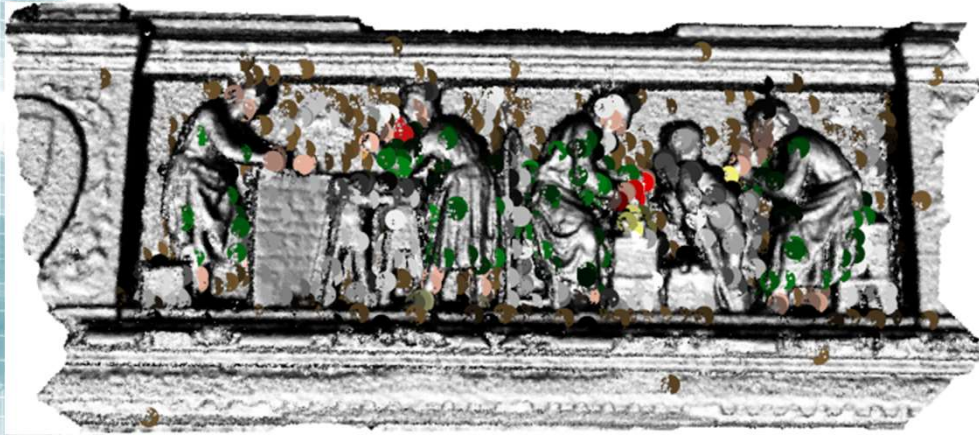


Interpolation problems on graphs





Inpainting, colorization, classification



Extraction d'objets



Extraction d'objets

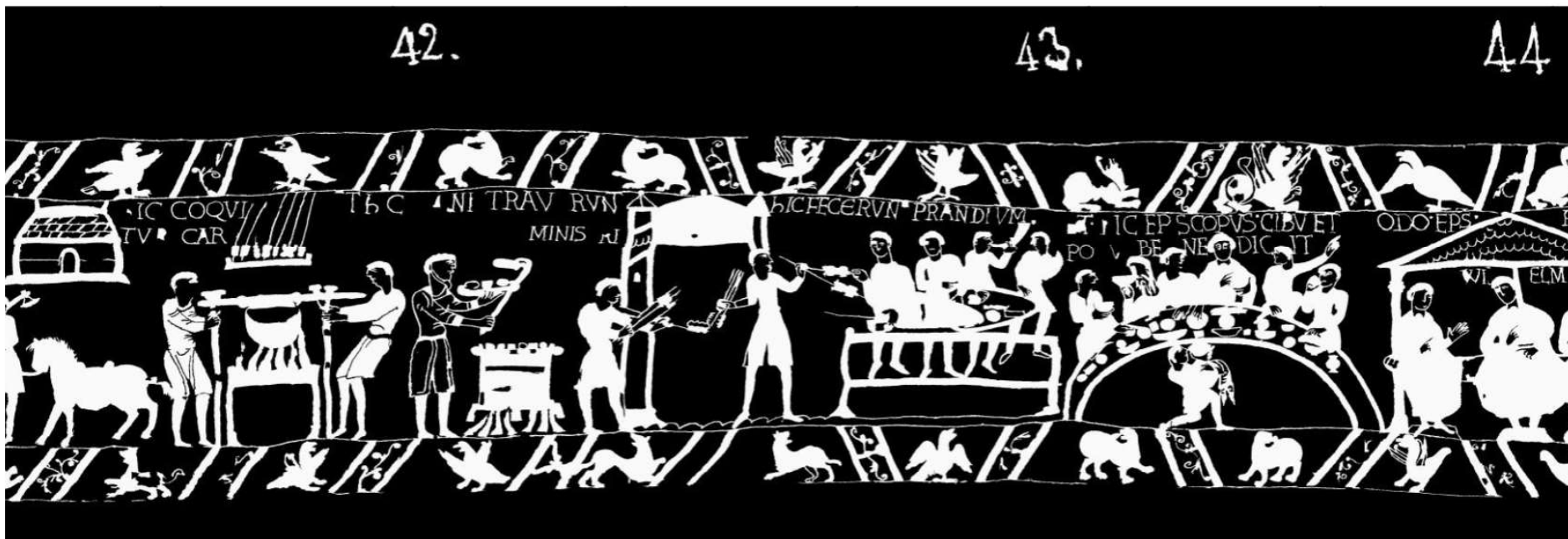


Extraction d'objets

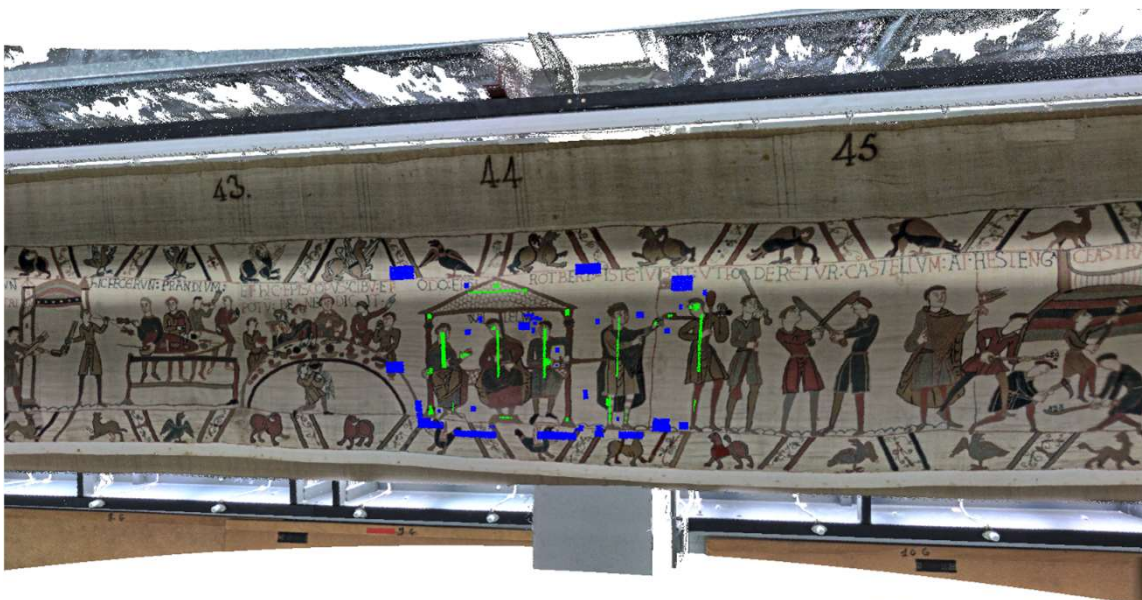




Extraction d'objets



Extraction d'objets



Extraction d'objets



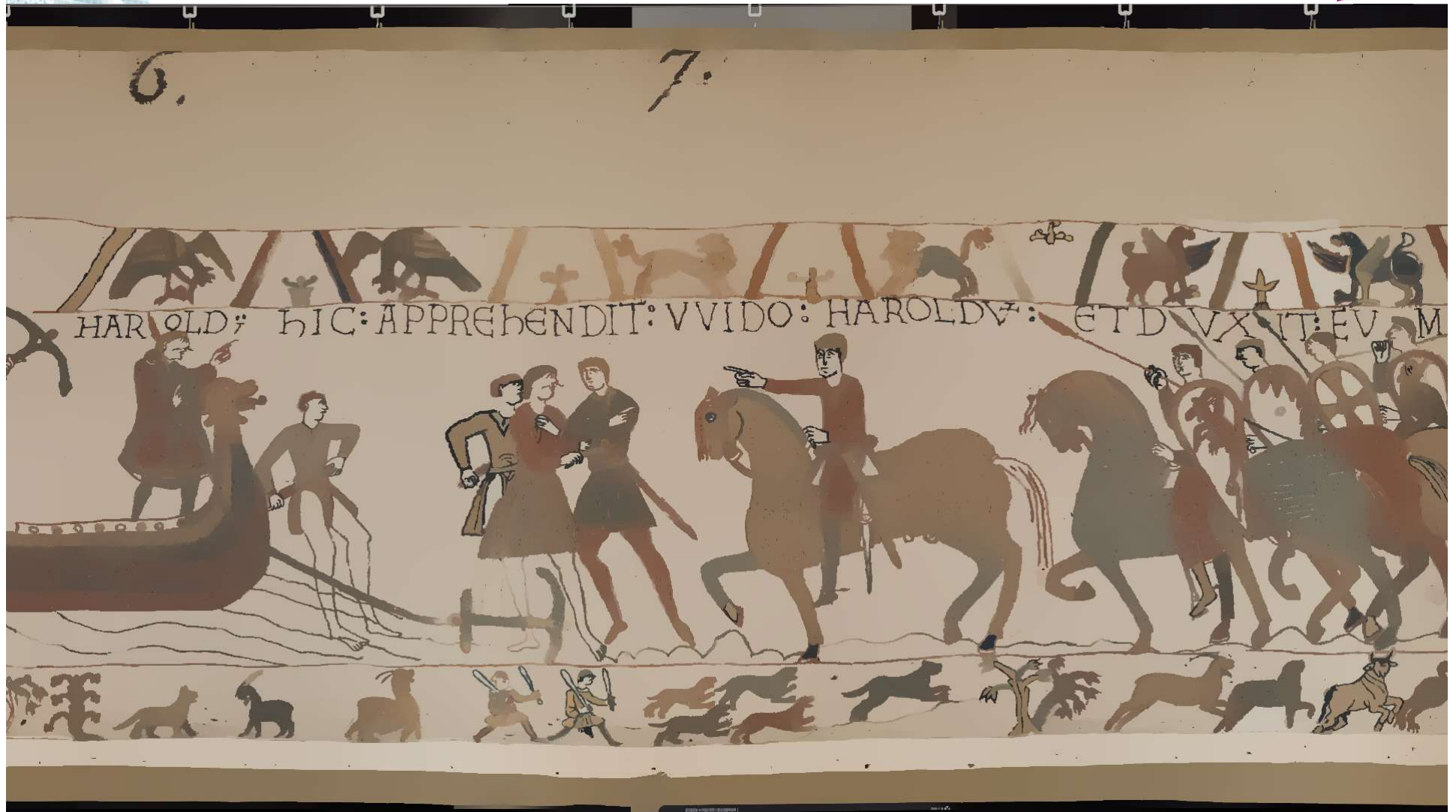
Décomposition modale empirique

Un signal $x(t)$ peut être séparé en deux composantes:

- $m_1(t)$ basse fréquence
- $d_1(t)$ hausses fréquences qui a le même nombre d'extrémas et passage par zéro
- Décomposer $m_1(t)$: $m_1(t) = m_2(t) + d_2(t)$
- $X(t) = m_k(t) + d_1(t) + d_2(t) + \dots + d_k(t)$
- Algorithme : $s = m_i$
 - Détecter les extrema de s
 - **Interpoler** les les minimas et la maxima pour créer des enveloppes : $e_{\min}(t)$ et $e_{\max}(t)$
 - Calculer la moyenne $M(t) = (e_{\min}(t) + e_{\max}(t))/2$
 - $s(t) = s(t) - M(t)$
 - $d_{i+1}(t) = s(t)$ et $m_{i+1}(t) = m_i(t) - s(t)$







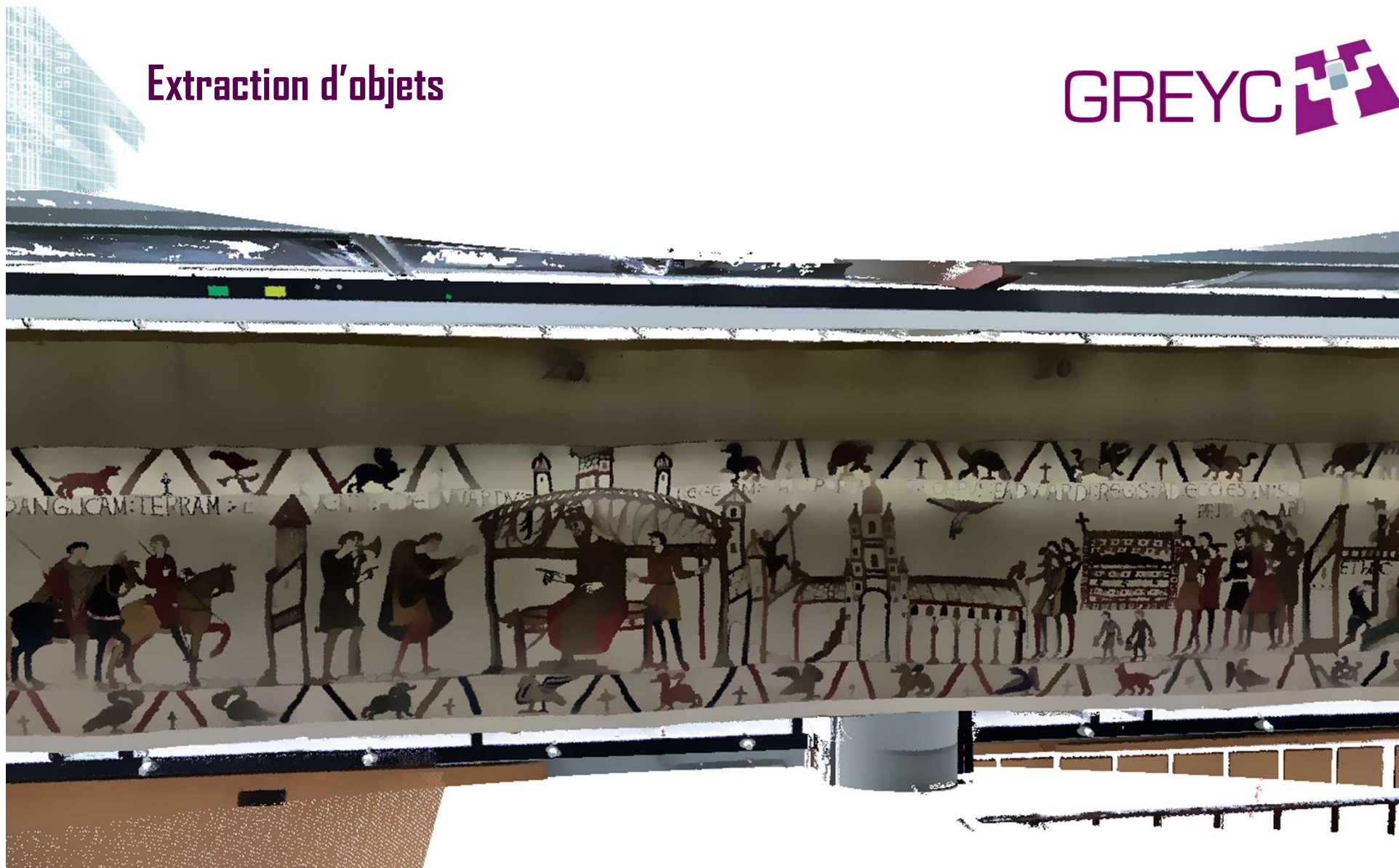
Extraction d'objets



Extraction d'objets



Extraction d'objets



Construction de Panoramas 2D et 3D



Tapiserie de Bayeux

- *Œuvre unique au monde. Elle est restée intacte depuis 9,5 siècles*
- *Premier objet classé au titre des monuments historiques depuis 1840, inscrite au registre Mémoire du monde de l'Unesco depuis 2007*
- *Broderie de laine sur toile presque millénaire qui raconte la conquête de l'Angleterre, 70 m de long, 50 cm de largeur, 58 scènes numérotées*
- *Commanditaire, endroit et date de création ?*
- *1476 inventaire de la richesse de la cathédrale de Bayeux*

« une tente très longue et étroite de telle broderie de ymages et escriptaux faisons representation du conquest dangleterre. Laquelle est tendue environ la nef de l'eslise, le jour et par les octaves des reliques ».



Tapiserie

- Récit de la Conquête de l'Angleterre 1066
- Documentaire unique sur la manière de vivre et de combattre en Normandie et en Angleterre au XI^{ème} siècle
- Les 3 Protagonistes :
 - Edouard,
 - Guillaume
 - Harold



Contexte et objectifs

Restructuration du Musée de la tapisserie de Bayeux

- *« Centre de compréhension de l'Europe du Moyen Age »: amélioration des conditions de de conservation, de présentation et d'accès à l'oeuvre (2013-2020)*
- *Le volet Numérique :*
 - *Un système d'informations « géoréférencé »: un panorama de la tapisserie*
 - *Outils d'indexation de l'ensemble de la documentation relative à la tapisserie*



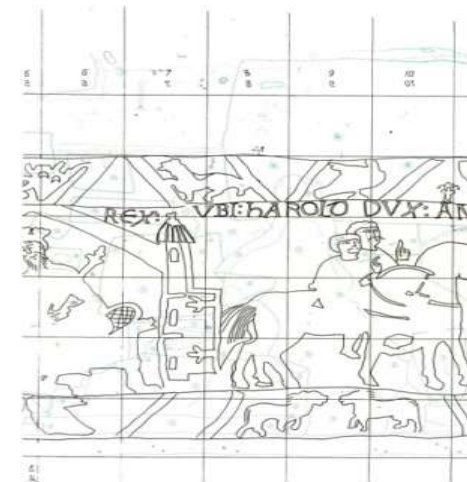
Numérisation de la Tapisserie



Création de panoramas:

Objectifs

- Numérisation en 2017 : 86 images de taille 8000x6000 pixels (LDJ, FUV, LRB, ...), revers
- Construction du fond de référence (recalage d'images numériques de la tapisserie et création d'un panorama)
- Recalage des calques sur le fond de référence
- Recalage des images historiques, par exemple issues de la campagne de 1982, sur un fond produit en 2017



Bayeux Tapestry: Panorama construction

2D

Multimodal digitalization

src: FDP (2017)



(LDJ)



(RUV)



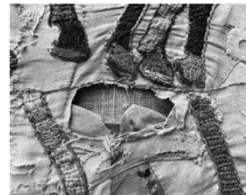
(UV)



(FCR)

Color

src: ??? (19??)



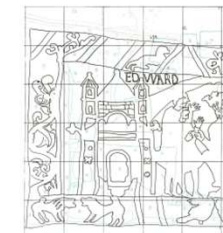
Reverse

src: ??? (19??)



Layers

src: ??? (19??)



3D

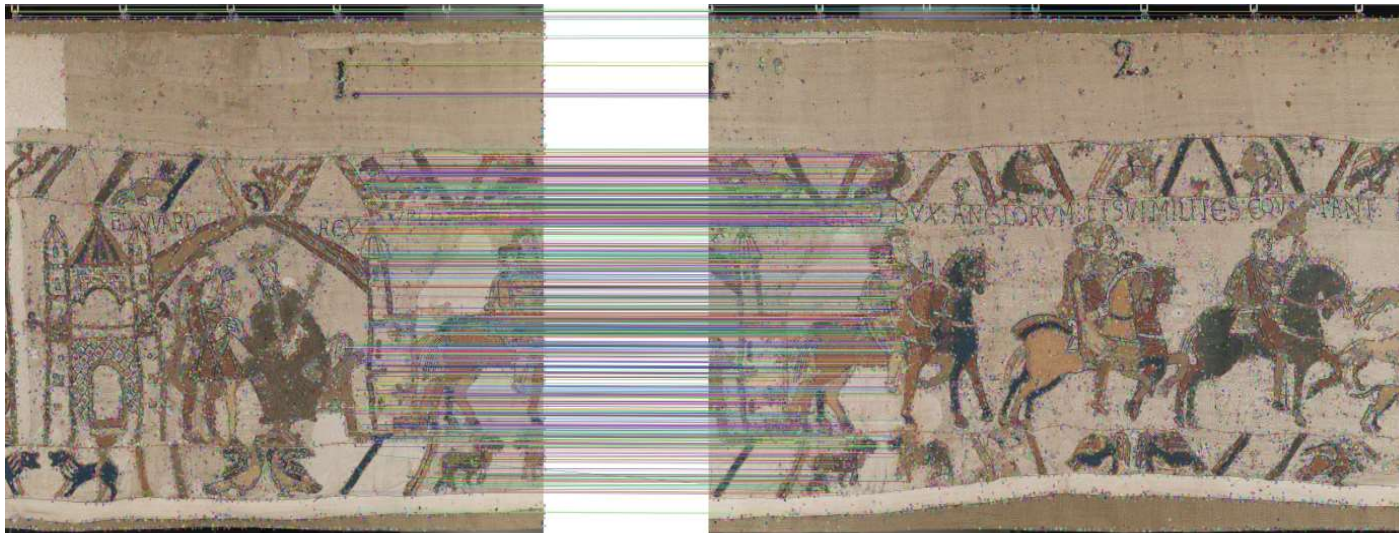


LIDAR 3D scans, src: GREYC (2017)

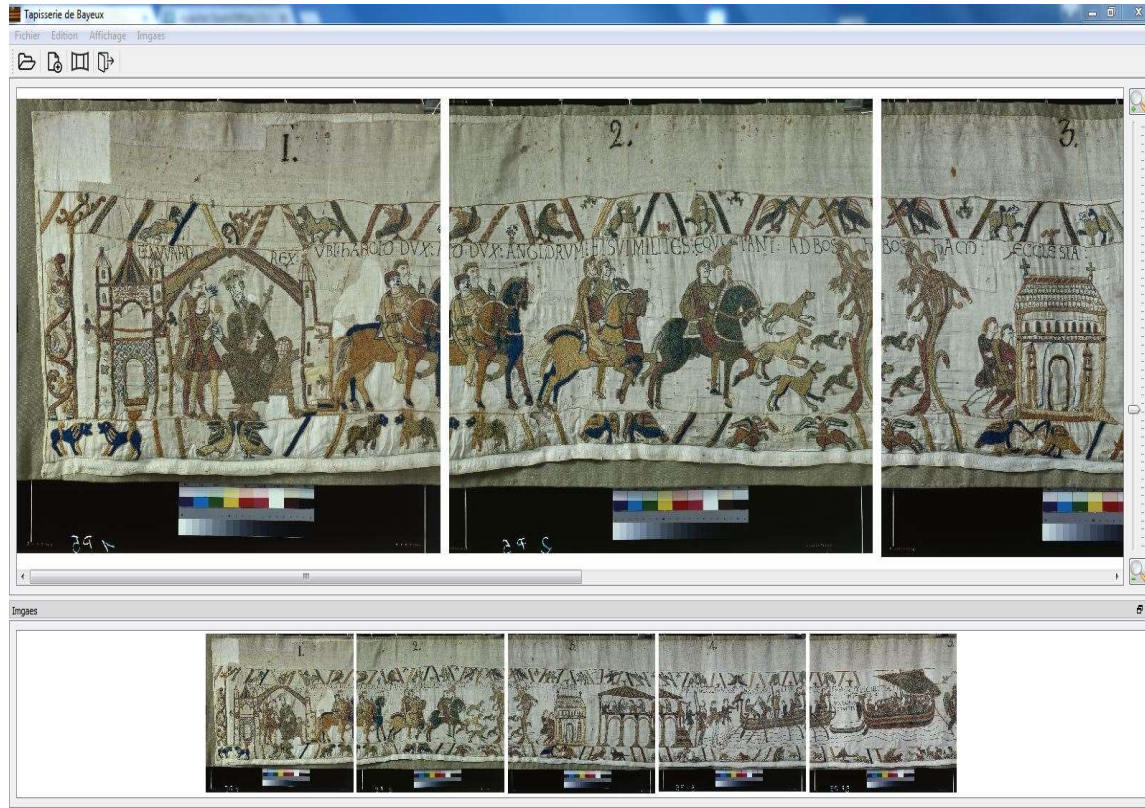
Création de panoramas:

Recalage d'images

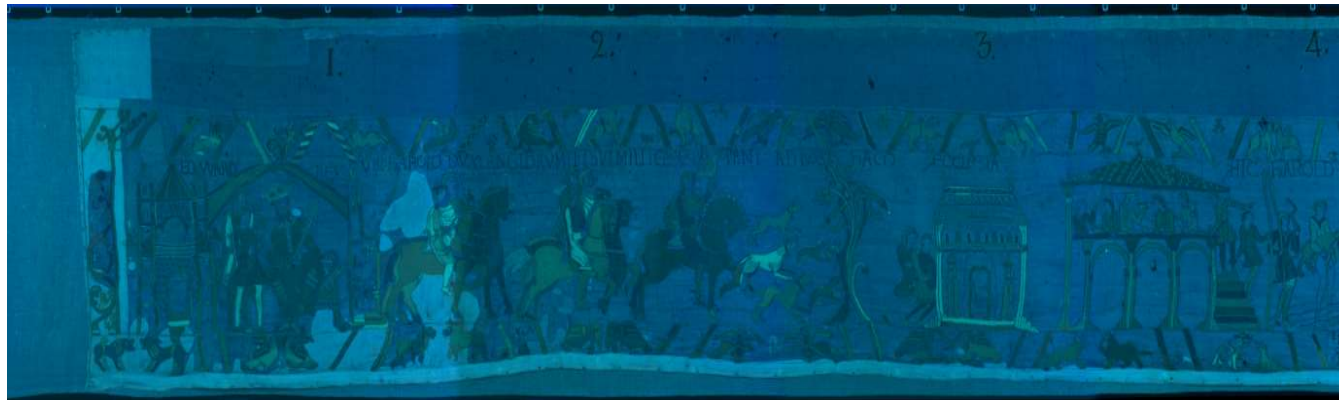
- *Détection de points de contrôles*
- *Mise en correspondance*
- *Estimation des paramètres de transformation*
- *Application de la transformation (interpolation bilinéaire par exemple)*
- *Affinement des résultats par fusionnement (« blending »)*



RECALAGE D'IMAGES 2D



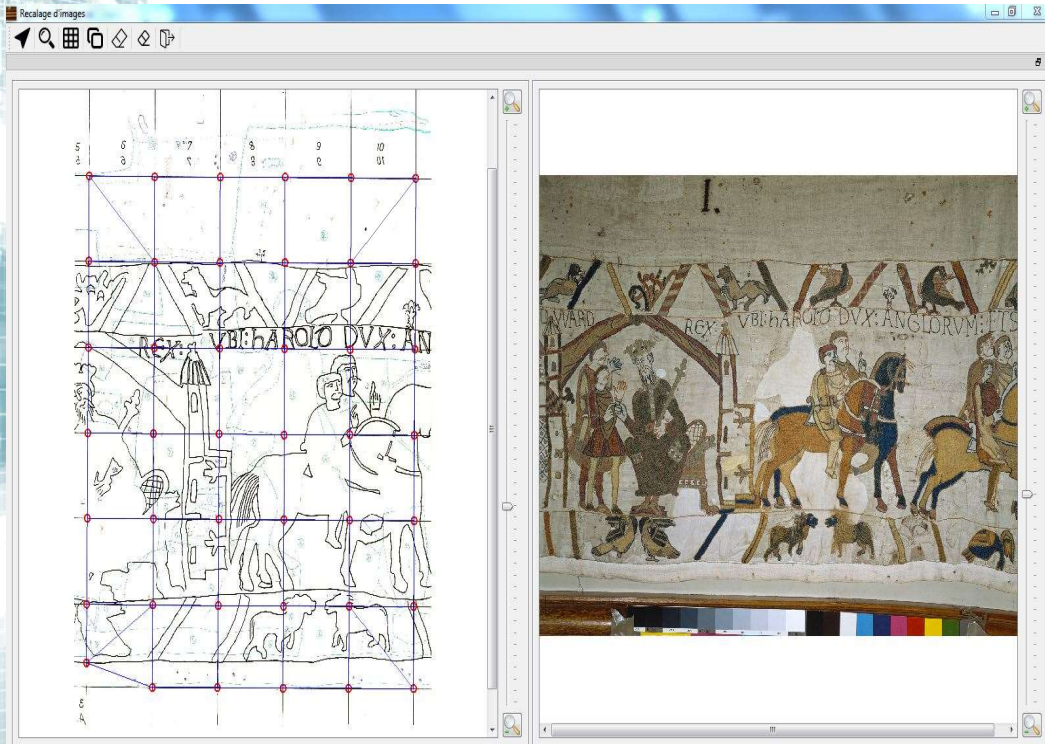
RECALAGE D'IMAGES 2D



VIEWER : SCÈNES 4 ET 42



Recalage d'images de calques





Recalage d'images historiques

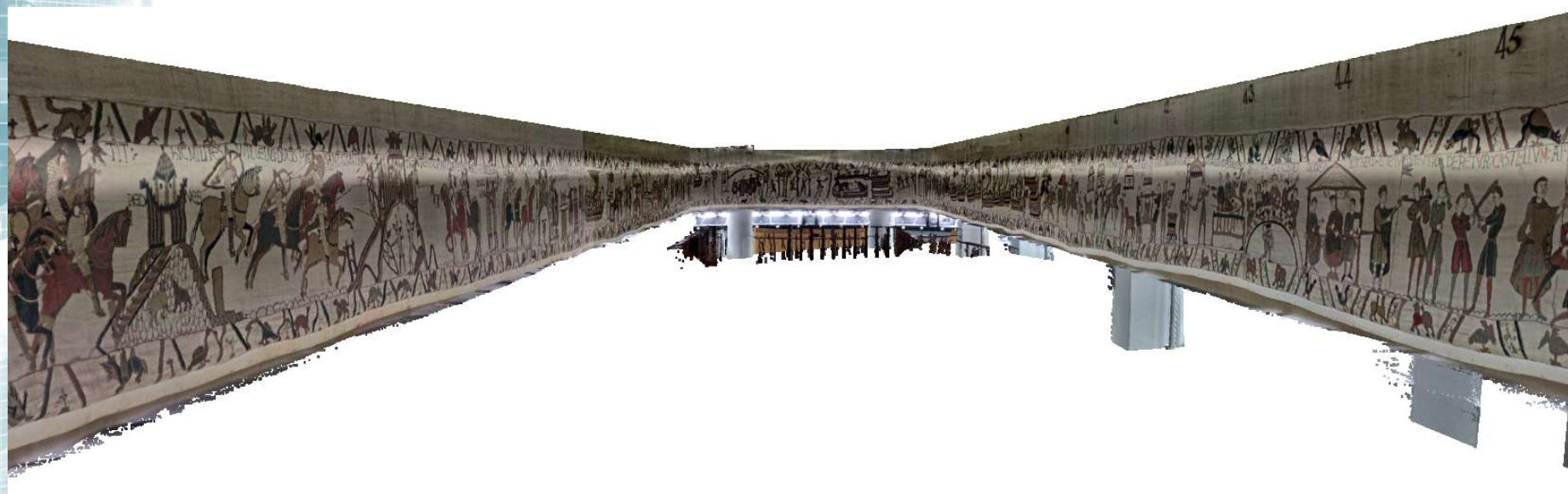


Recalage d'images historiques





Numérisation et recalage 3D



Traitement de nuages de points 3D



