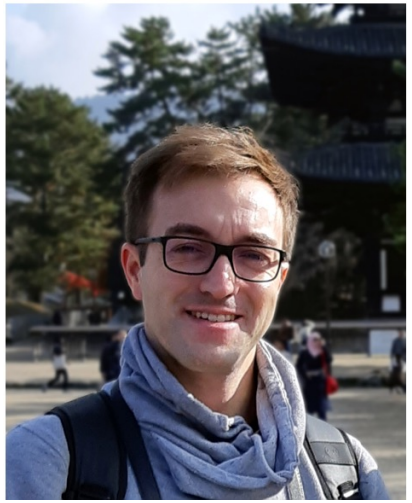
Numérisation hyperspectrale de vitraux in situ : Application aux vitraux de la cathédrale d'Amiens

Guillaume Caron

Maître de conferences HDR, UPJV Modélisation, Information et Systèmes

Délégué CNRS, co-directeur CNRS-AIST Joint Robotics Laboratory, Japon

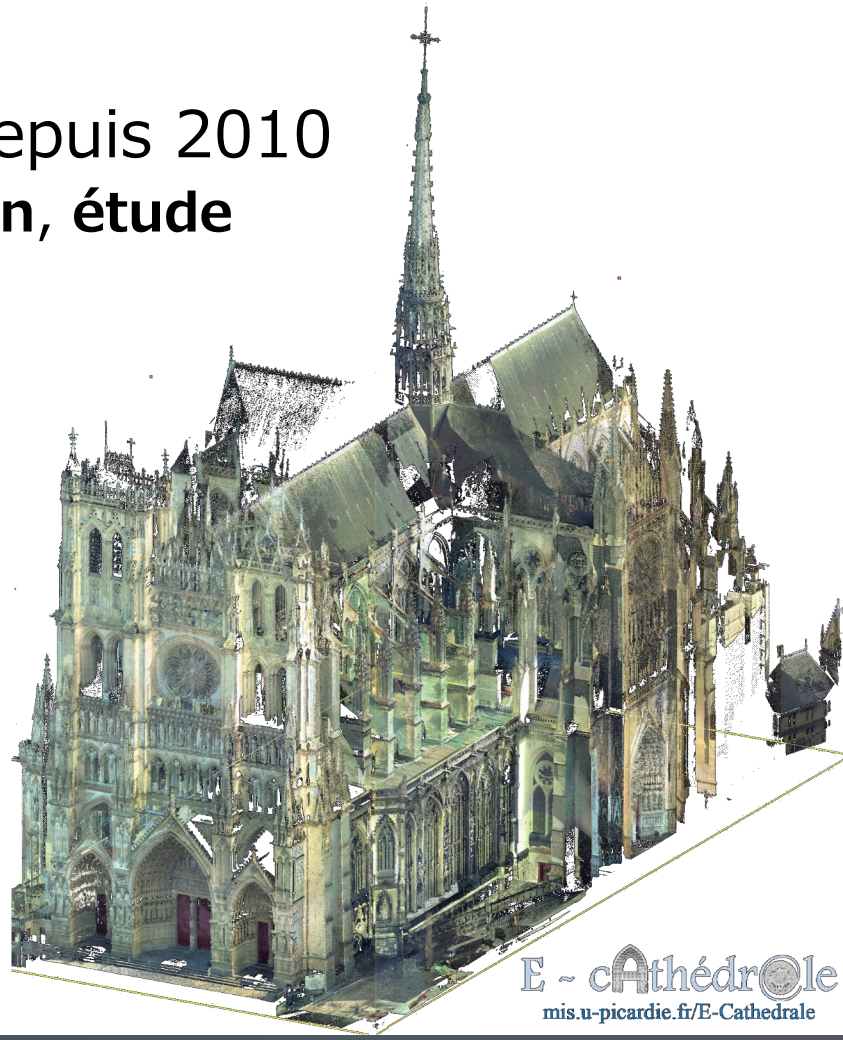


https://mis.u-picardie.fr/~g-caron

Contexte : e-Cathédrale

- Programme de l'UPJV, porté par E. Mouaddib depuis 2010
  - Maquettes 3D de monuments: **mesure**, **visualisation**, **étude**

Discovery Channel USA / France 5, Août 2016



e-Cathédrale

- Cartographie, post-traitements, visualisation immersive/à distance

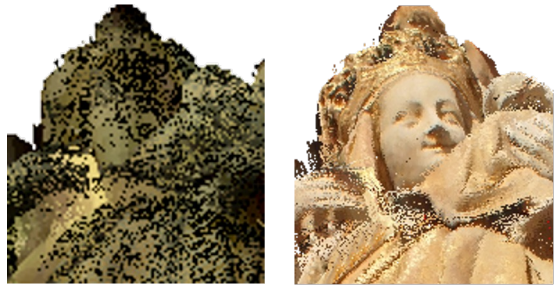
Nombreux salon, workshops, **comité technique 19 IAPR** (Président 2018-2022)

- Contrôle assisté de caméra virtuelle : exploration et cadrage (*Assiduitas*, projet région 2012-2015)

Digital Heritage 2015, E-Heritage@ACCV 2014,
IROS 2015, ISACS 2015 (**invitation** workshop d'IROS)

- Amélioration d'apparence visuelle de maquette 3D (thèse de Nathan Crombez)

TS 2014, URAI 2015 (best runner-up **paper award**),
3D ARCH (ISPRS) 2015



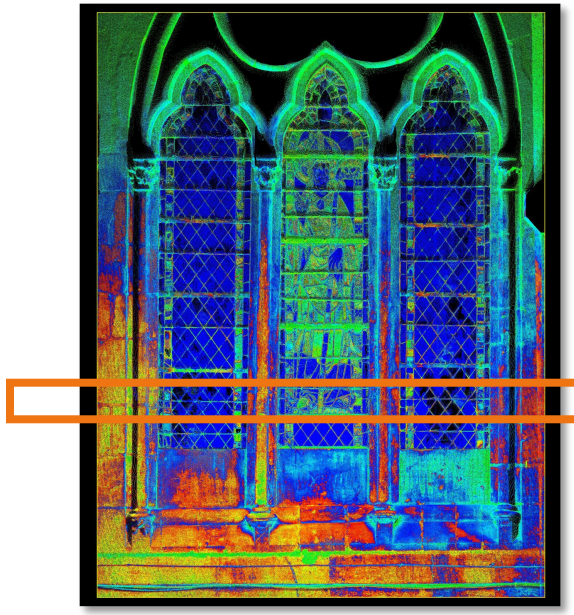
avant après

e-Cathédrale, FullScan (2018-2021)

Description métrique globale haute définition de monument

Lidar (scan laser)... mais sur matériaux adaptés "seulement"

Cathédrale d'Amiens, triforium, Saint Pierre (III)



Capture Lidar (fausses couleurs)

Pierre : variance de mesure de l'ordre de **1 mm**

Vitraux : variance de mesure de l'ordre de **10 mm**

FullScan

cartographie nD (géométrique et optique) de vitraux du patrimoine, sur site

FullScan

Zones de travail

Tous les vitraux du triforium :

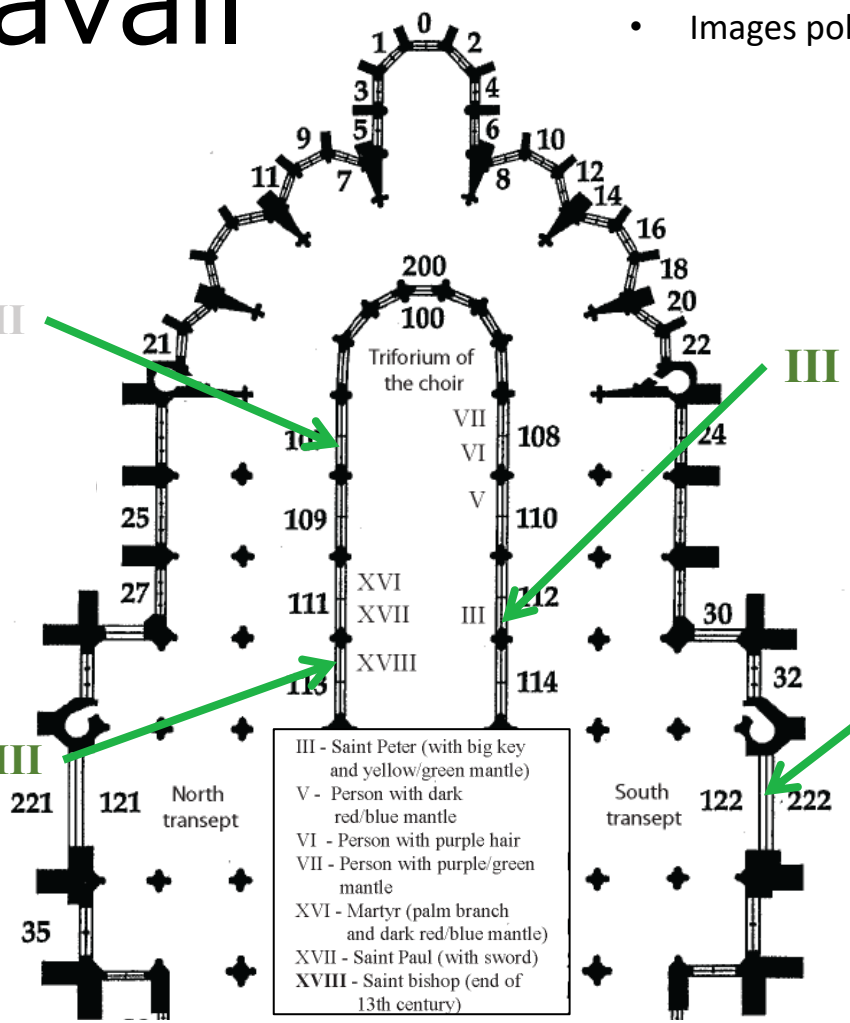
- Scans Lidar IR (intérieur) et Vert (intérieur et extérieur)
- Images polarimétriques (intérieur)

Scans Lidar IR
Scans Lidar Vert
Images fisheye
Images équirectangulaires

Imagerie temps de vol
IR modulée

Images polarimétriques

XIII



III

Scans Lidar IR
Scans Lidar Vert
Images équirectangulaires

Images hyperspectrales
Imagerie temps de vol
IR modulée x2

Images polarimétriques

XVIII

Scans Lidar IR
Scans Lidar Vert
Images équirectangulaires

Images hyperspectrales
Imagerie temps de vol
IR modulée

Images polarimétriques

Plénoptique

Revers du portail Sud

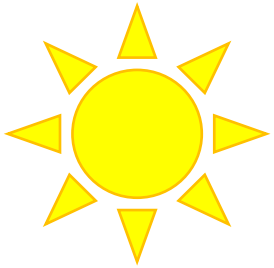
Scans Lidar IR
Scans Lidar Vert
Images équirectangulaires

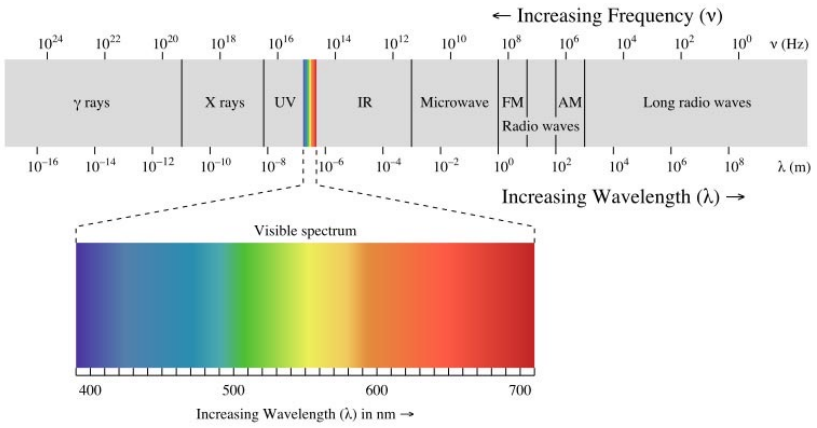
Images hyperspectrales
Imagerie temps de vol
IR modulée

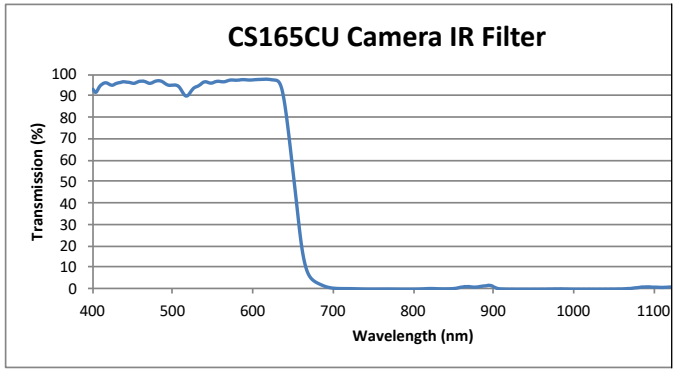
Images polarimétriques

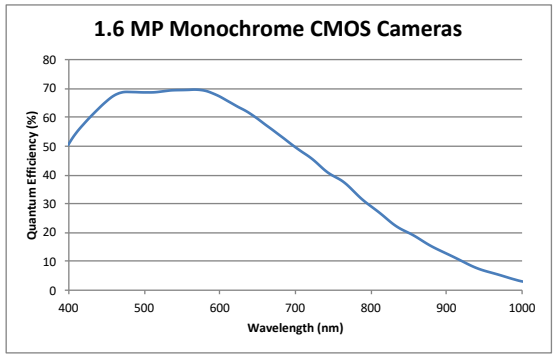
"La Grâce d'une Cathédrale: Amiens", J.-L. Bouilleret, A. André, X. Boniface, La Nuée Bleue Ed. Strasbourg, 2012 – pp. 253-269

Hyperspectral ?

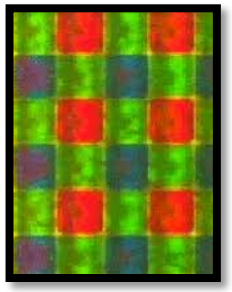




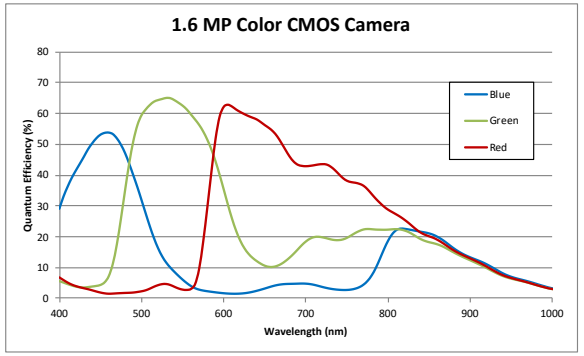




$I = \int luminance(\lambda)\, d\lambda$



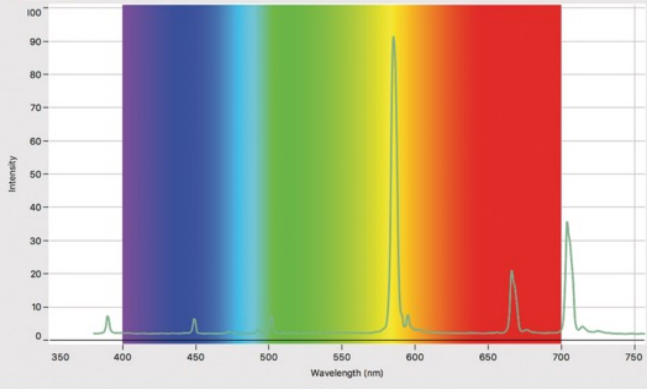
Grille de Bayer (filtres f_R, f_G, f_B)



$R = \int luminance(\lambda) * f_R\, d\lambda$
$G = \int luminance(\lambda) * f_G\, d\lambda$
$B = \int luminance(\lambda) * f_B\, d\lambda$

Imagerie hyperspectrale :

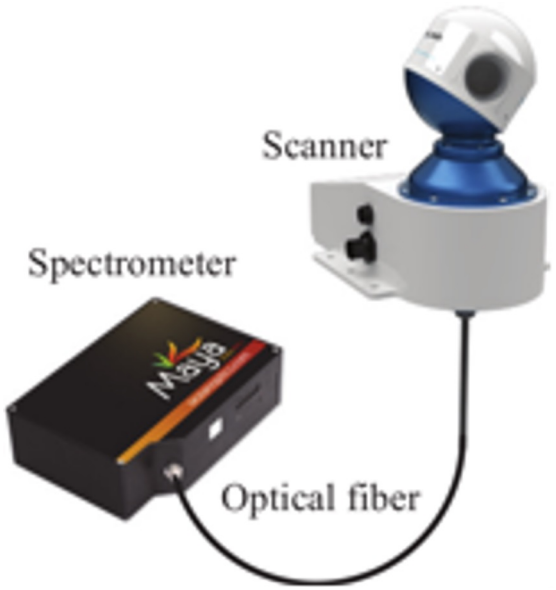
- Bandes spectrales fines
- Résolution spectrale (bien) supérieure (avec un spectromètre)

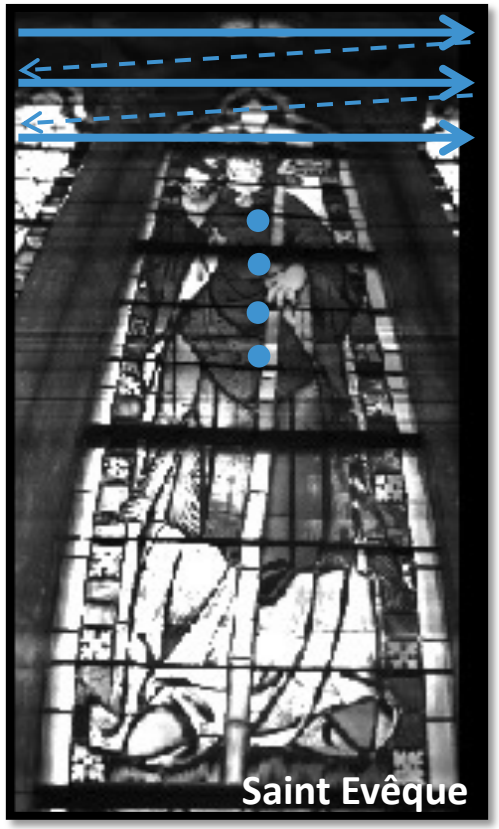


λ: longueur d'onde

Capture hyperspectrale

- RobotEye
  - OceanOptics Maya Pro 2000
    - **200-1,100nm**
    - 500-1,375nm
  - Ocular REHS25
    - 360° en azimut
    - 70° en élévation
    - résolution > 0.01°





(représentation en niveaux de gris de 1750 canaux)

Balayage → long temps de capture, variation de la lumière naturelle

avec variations

sans variation

[IJCV2022] Takuya Funatomi, Takehiro Ogawa, Kenichiro Tanaka, Hiroyuki Kubo, Guillaume Caron, El Mustapha Mouaddib, Yasuyuki Matsushita, Yasuhiro Mukaigawa. Eliminating Temporal Illumination Variations in Whisk-broom Hyperspectral Imaging. *International Journal of Computer Vision*, 2022

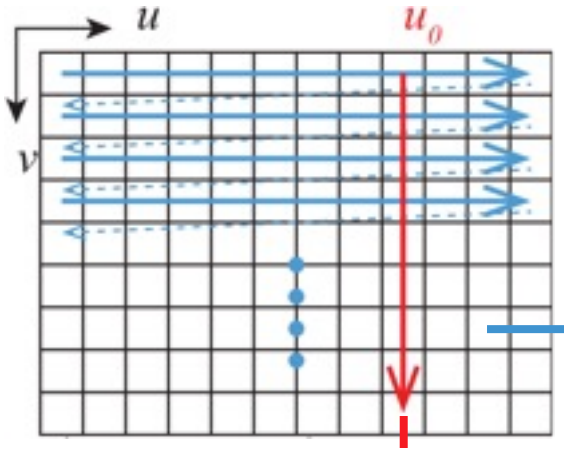
Capture hyperspectrale corrigée

- Eliminer les variations temporelles de lumière

1

Balayage (long)

Hypothèses :
- changements d'illumination progressifs
- pas de changement dans une ligne/colonne



Intensité capturée

Intensité corrigée : $\hat{\mathbf{i}}_{m,n} = \exp\left(\mathbf{d}^*_{m,n'}\right) \odot \mathbf{i}_{m,n}$

Calcul de coefficients de **correction d*** dans un espace de faible dimension

2

Capture transverse (rapide)

variations éliminées

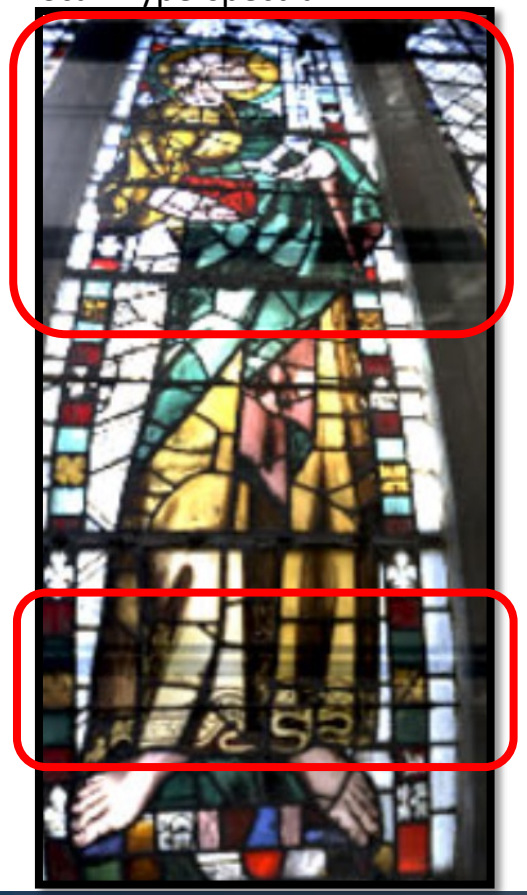
avec variations

sans variation

[IJCV2022] Takuya Funatomi, Takehiro Ogawa, Kenichiro Tanaka, Hiroyuki Kubo, Guillaume Caron, El Mustapha Mouaddib, Yasuyuki Matsushita, Yasuhiro Mukaigawa. Eliminating Temporal Illumination Variations in Whisk-broom Hyperspectral Imaging. *International Journal of Computer Vision*, 2022

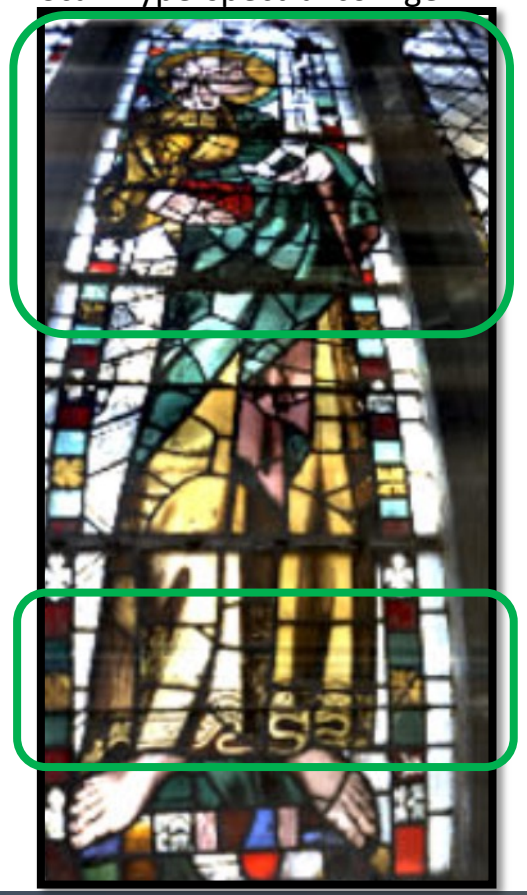
Image hyperspectrale (HSI) : résultat

Vitrail St Pierre,
Scan hyperspectral



(représentation en couleur de 663 canaux)

Vitrail St Pierre,
Scan hyperspectral corrigé

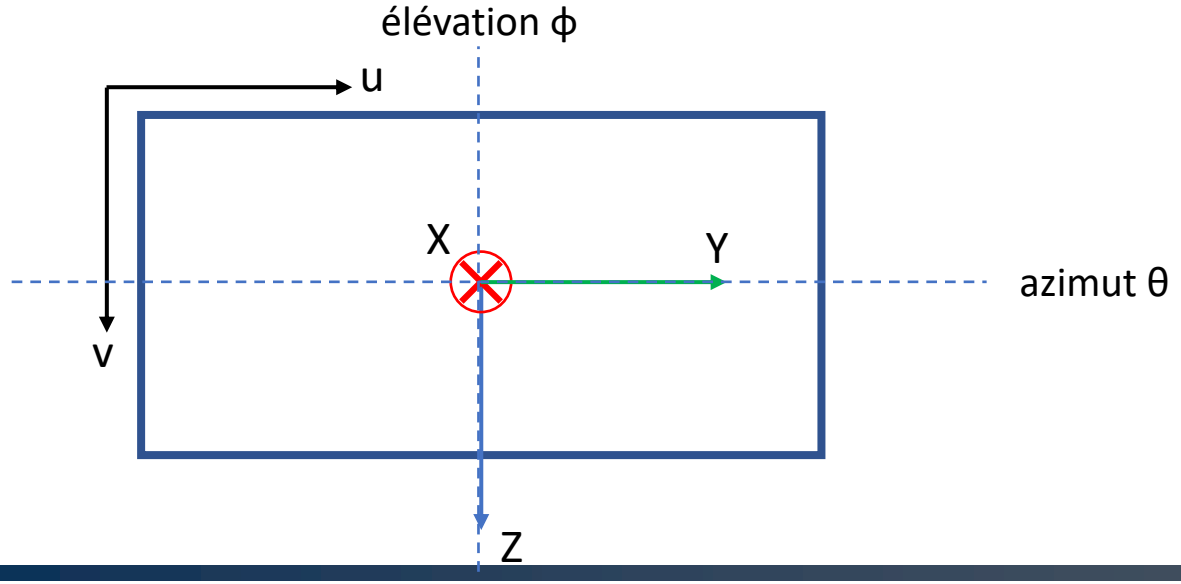


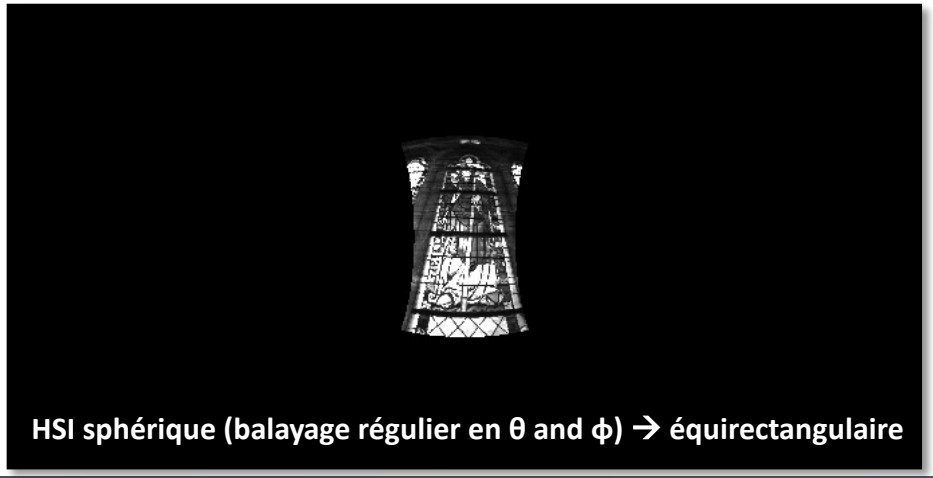
(représentation en couleur de 663 canaux)

[IJCV2022] Takuya Funatomi, Takehiro Ogawa, Kenichiro Tanaka, Hiroyuki Kubo, Guillaume Caron, El Mustapha Mouaddib, Yasuyuki Matsushita, Yasuhiro Mukaigawa. Eliminating Temporal Illumination Variations in Whisk-broom Hyperspectral Imaging. *International Journal of Computer Vision*, 2022

Recalage HSI et autres modalités: RGB

- Ricoh Theta V
  - Fisheyes duales : capture “instantanée”
  - Images **équirectangulaires** HDR
    - 360° en azimut
    - 180° en élévation





HSI sphérique (balayage régulier en θ and ϕ) → équirectangulaire

[ICIP2022] Guillaume Caron, Suzan J. Kessy, Yasuhiro Mukaigawa, Takuya Funatomi. Direct alignment of narrow field-of-view hyperspectral data and full-view RGB image. *IEEE International Conference on Image Processing*, 2022

Un seul canal dans le visible pour simplifier

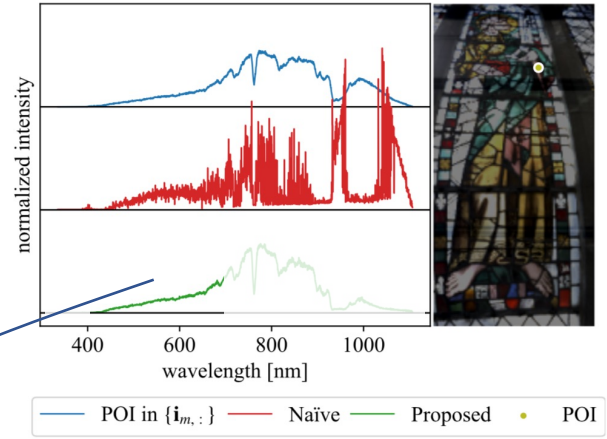
3 canaux source

$I_C = 0.299\ R + 0.587\ G + 0.114\ B$

1 canal

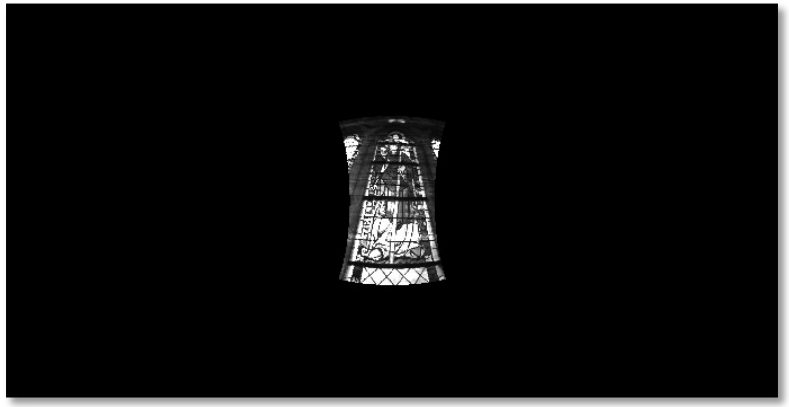
I_S = Somme de 663 canaux

2068 canaux source



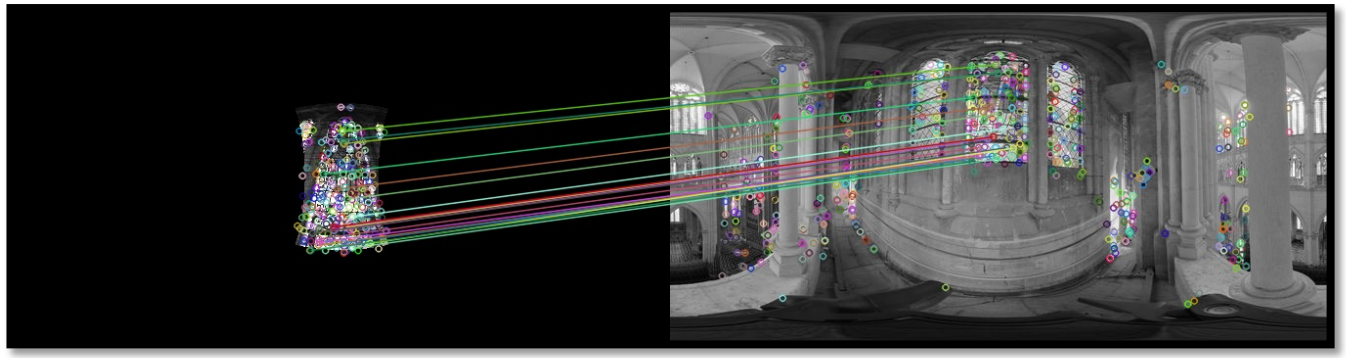
[IJCV2022]

1 canal



[ICIP2022] Guillaume Caron, Suzan J. Kessy, Yasuhiro Mukaigawa, Takuya Funatomi. Direct alignment of narrow field-of-view hyperspectral data and full-view RGB image. *IEEE International Conference on Image Processing*, 2022

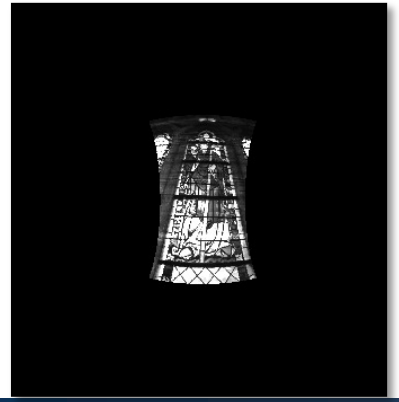
Recalage en deux temps



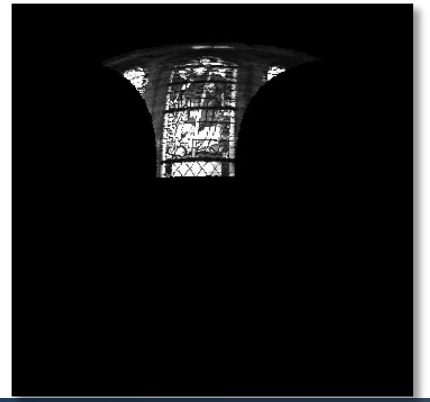
AKAZE, descripteur KAZE (UPRIGHT)

Sous hypothèse de scène plane, on calcule la transformation géométrique (homographie sphérique) liant les points et on l'applique sur toute la HSI

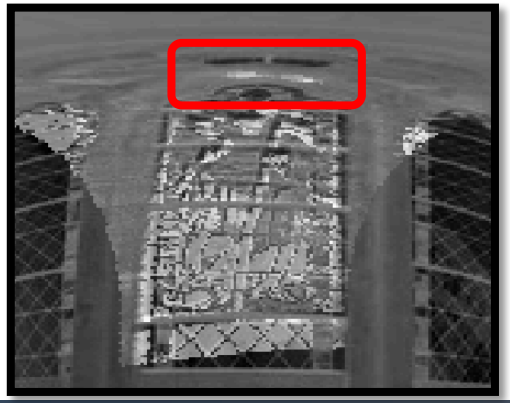
origine (recadrée)



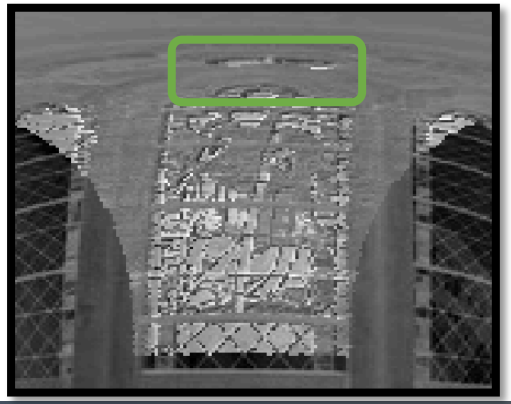
(1) estimation robuste
+ optimisation géométrique



zoom sur
(1) – désirée



Zoom sur
optimisation photométrique - désirée

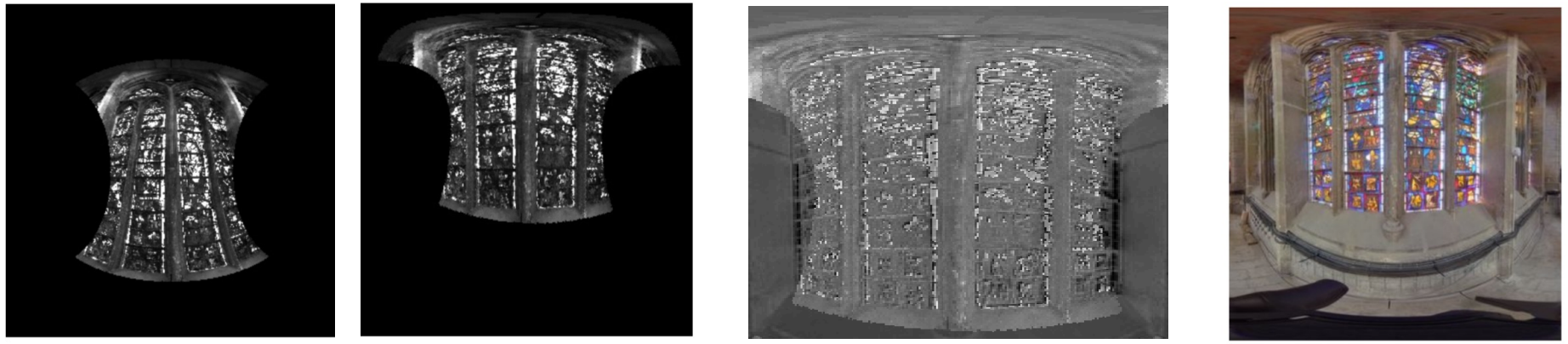


désirée

[ICIP2022] Guillaume Caron, Suzan J. Kessy, Yasuhiro Mukaigawa, Takuya Funatomi. Direct alignment of narrow field-of-view hyperspectral data and full-view RGB image. *IEEE International Conference on Image Processing*, 2022

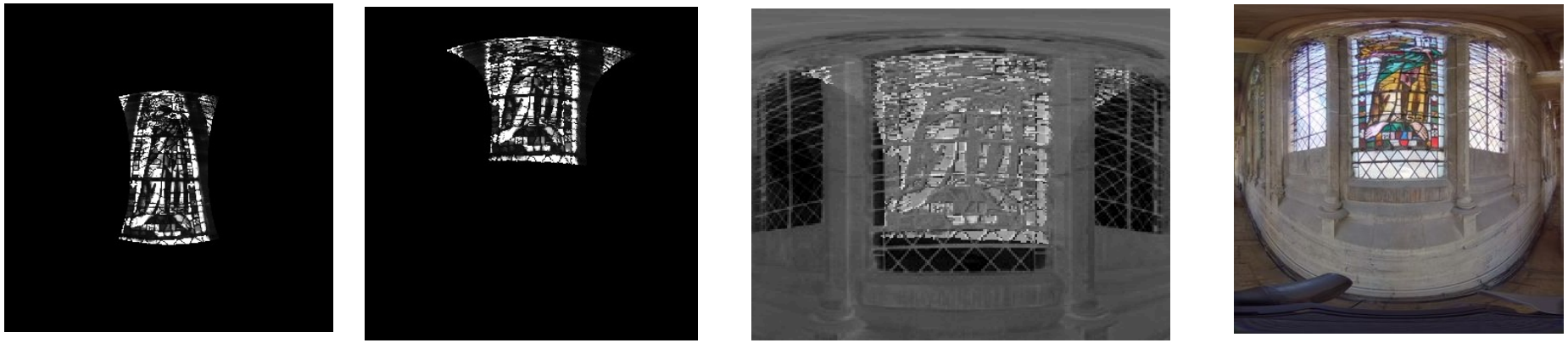
Autres résultats

Vitraux du portail Sud (revers)



(a) I_S (c) $\hat{\mathbf{H}}$ warps I_S Zoom sur (c) - (d) (d) Target

Vitrail St Pierre



[ICIP2022] Guillaume Caron, Suzan J. Kessy, Yasuhiro Mukaigawa, Takuya Funatomi. Direct alignment of narrow field-of-view hyperspectral data and full-view RGB image. *IEEE International Conference on Image Processing*, 2022

Conclusion

- Capture hyperspectrale de vitraux et recalage sphérique couleur
- Jeux de données FullScan : http://mis.u-picardie.fr/~g-caron/datasets
- Logiciel libre de recalage : https://github.com/jrl-umi3218/hsrgbalign

Travaux futurs

- Maquette virtuelle unifiée : combiner toutes les modalités
  - Recalage d'images sphériques sur données Lidar (nuage de points 3D)
  - Correction des données Lidar des vitraux
  - Vers une structure de Heritage Building Information Model (HBIM)
- Analyser la composition des vitraux in situ

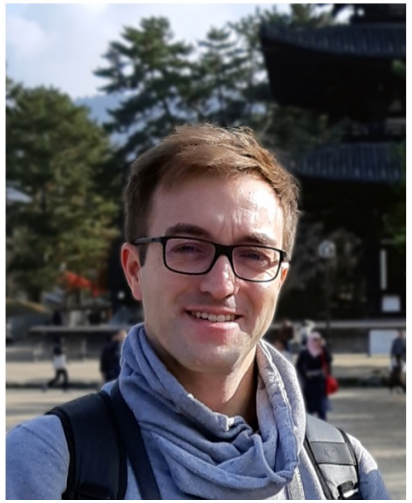
Agnese Babini, Sony George, Jon Y. Hardeberg. Hyperspectral imaging workflow for the acquisition and analysis of stained-glass panels. *SPIE Optics for Arts, Architecture, and Archaeology VIII*, 2021

Numérisation hyperspectrale de vitraux in situ : Application aux vitraux de la cathédrale d'Amiens

Guillaume Caron

Maître de conferences HDR, UPJV Modélisation, Information et Systèmes

Délégué CNRS, co-directeur CNRS-AIST Joint Robotics Laboratory, Japon



https://mis.u-picardie.fr/~g-caron