

flot optique et images satellitales

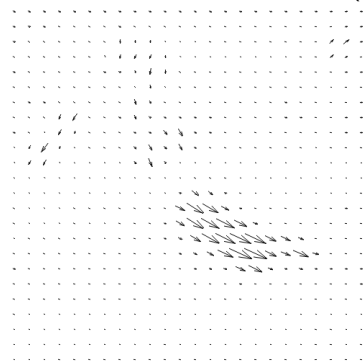
9 – 5 – 2012

Le problème du flot optique

Entrée : vidéo $I_i(\mathbf{x})$



Sortie : champs vectoriels $\mathbf{u}_i(\mathbf{x})$



Critère : $I_{t+1}(\mathbf{x} + \mathbf{u}_t(\mathbf{x})) = I_t(\mathbf{x})$

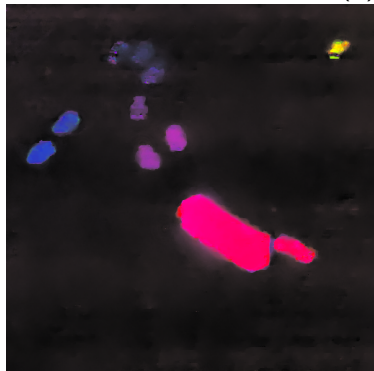
Critère linearisé : $\nabla I \cdot \mathbf{u} + \frac{\partial}{\partial t} I = 0$

Le problème du flot optique

Entrée : vidéo $I_i(\mathbf{x})$



Sortie : champs vectoriels $\mathbf{u}_i(\mathbf{x})$



Critère : $I_{t+1}(\mathbf{x} + \mathbf{u}_t(\mathbf{x})) = I_t(\mathbf{x})$

Critère linearisé : $\nabla I \cdot \mathbf{u} + \frac{\partial}{\partial t} I = 0$

Applications aux images satellitales

- ▶ Calcul des disparités sans stéréorectification
- ▶ Interpolation/raffinement des données de block-matching
- ▶ Débruitage

Méthodes analysées

Seulement des méthodes variationnelles

Trouver le champ de vecteurs qui minimise les énergies suivantes :

Horn-Schunck :
$$E(u) = \int |\nabla I \cdot u + I_t|^2 + \alpha^2 \int |\nabla u|^2$$

TV-L1 :
$$E(u) = \int |\nabla I \cdot u + I_t| + \lambda \int |\nabla u|$$

Lucas-Kanade :
$$E(u(x)) = \int |\nabla I(x+y) \cdot u(x) + I_t(x+y)|^2 g_\sigma(y) dy$$

Chaque méthode a un paramètre de régularisation.

Nécessité de la multi-échelle

Ces méthodes ne sont adaptés qu'aux petits déplacements.

Mais tout déplacement est sous-pixelien à une échelle suffisamment petite



taille : 1920×1080

déplacement : 100 pixels



taille : 15×8

déplacement : sous-pixelien

Nécessité de la multi-échelle

Ces méthodes ne sont adaptés qu'aux petits déplacements.

Mais tout déplacement est sous-pixelien à une échelle suffisamment petite



taille : 1920×1080

déplacement : 100 pixels



taille : 15×8

déplacement : sous-pixelien

Méthode de Horn-Schunck

Fonctionnel : $E(u) = \int |\nabla I \cdot u + I_t|^2 + \alpha^2 \int |\nabla u|^2$

Algorithme : système linéaire \implies Gauss-Seidel

| Paramètres : | interpretation | min | défaut | max |
|--------------------|----------------------|-----|--------|----------------------------------|
| α | régularisation | 0 | 10 | 100 |
| η | facteur d'échelle | 1.1 | 1.6 | 3 |
| N_{first} | première échelle | 1 | 6 | $1 + \log_{\eta}(\text{taille})$ |
| N_{last} | dernière échelle | 1 | 1 | N_{first} |
| ϵ | condition d'arrêt | 0 | 0.001 | 1 |
| M | maximum d'itérations | 1 | 500 | ∞ |

Références :

[B.K.P. Horn and B.G. Schunck, Determining Optical Flow, MIT AI MEMO 1980]

[E. Meinhardt and J. Sánchez, Horn-Schunck Optical Flow, IPOL 2012]

Méthode TV-L1

Attache aux données L1 avec régularisation par variation totale

Fonctionnel : $E(u) = \int |\nabla I \cdot u + I_t| + \lambda \int |\nabla u|$

Algorithme : séparation de variables, puis méthode de Chambolle et seuillage : $E(u, v) = \int |\nabla I \cdot u + I_t| + \frac{1}{2\theta} |u - v|^2 + \lambda \int |\nabla v|$

| Paramètres : | interpretation | min | défaut | max |
|---------------------------------|---------------------|-----|--------|----------------------------------|
| λ | régularisation | 0 | 6 | 100 |
| η | facteur d'échelle | 1.1 | 1.6 | 3 |
| N_{first} | première échelle | 1 | 6 | $1 + \log_{\eta}(\text{taille})$ |
| N_{last} | dernière échelle | 1 | 1 | N_{first} |
| $\epsilon, \tau, \theta, \dots$ | paramètres internes | | | |

Références :

[A.Chambolle, An algorithm for total variation minimization and applications, JMIV 2004]

[C.Zach, T.Pock and H.Bischof, A duality based approach for realtime TV-L1 Optical Flow, Pat.Rec. 2007]

[J.Sánchez, E.Meinhardt and G.Facciolo, TV-L1 Optical Flow Estimation, IPOL 2012]

Méthode Lucas-Kanade

Estimation d'un modèle localement constant

Fonctionnel :

$$E(u(x)) = \int |\nabla I(x + y) \cdot u(x) + I_t(x + y)|^2 g_\sigma(y) dy$$

Algorithme : moindres carrés de dimension 2 pour chaque pixel.

| Paramètres : | interpretation | min | défaut | max |
|--------------------|-------------------------|-----|--------|--------------------------------|
| σ | amplitude de la fenêtre | 1 | 3 | ∞ |
| η | facteur d'échelle | 1.1 | 1.6 | 3 |
| N_{first} | première échelle | 1 | 6 | $1 + \log_\eta(\text{taille})$ |
| N_{last} | dernière échelle | 1 | 1 | N_{first} |
| k | taille de la fenêtre | 3 | 5 | taille de l'image |

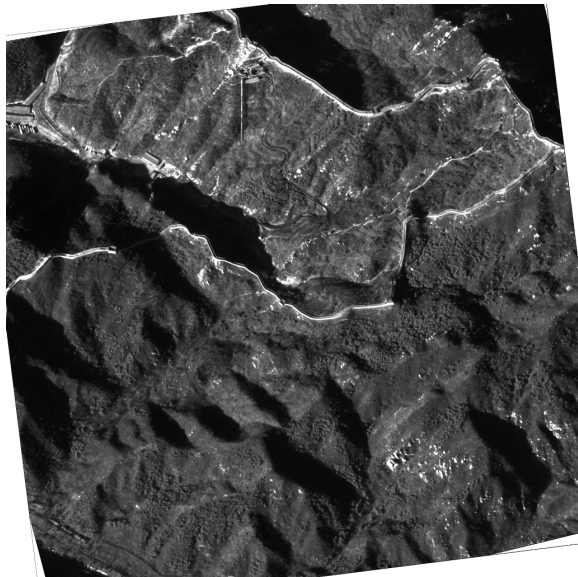
Références :

[B.D. Lucas and T. Kanade, An iterative image registration technique with an application to stereo vision, 1981]

[J.Y.Bouguet, Pyramidal implementation of the affine lucas kanade feature tracker, 2001]

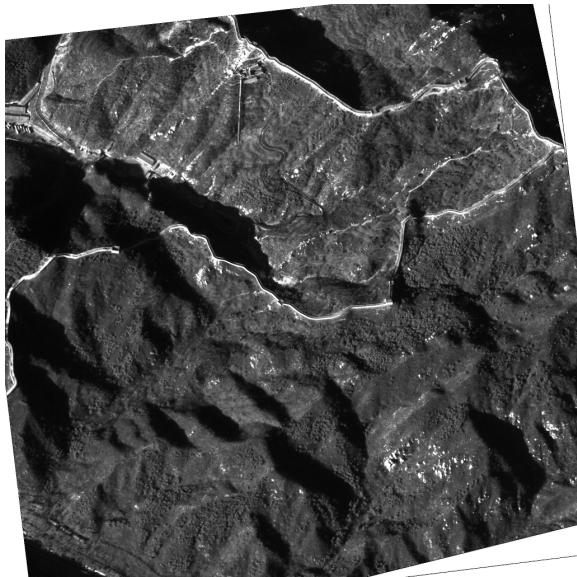
Pair rectifié "Grande muraille"

Crop 1024x1024



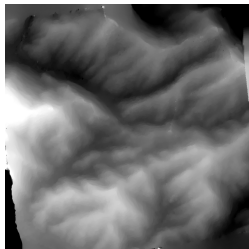
Pair rectifié "Grande muraille"

Crop 1024x1024

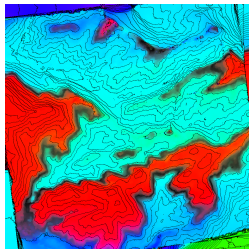


Pair rectifié "Grande muraille"

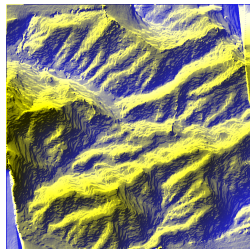
Crop 1024x1024, temps TVL1 = 18s



$|u|$



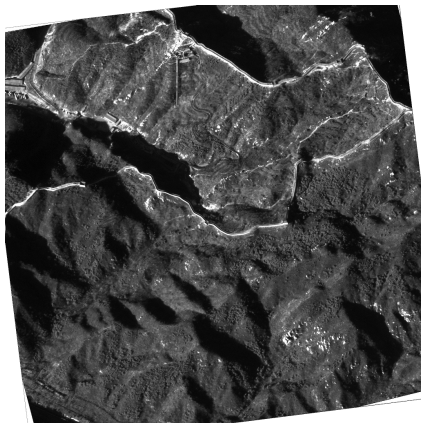
niveaux $|u|$



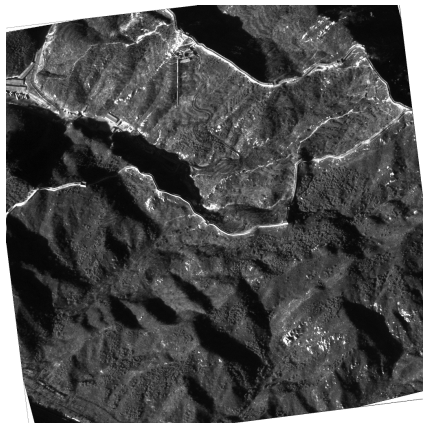
landscape

Pair rectifié "Grande muraille"

Crop 1024x1024, temps TVL1 = 18s



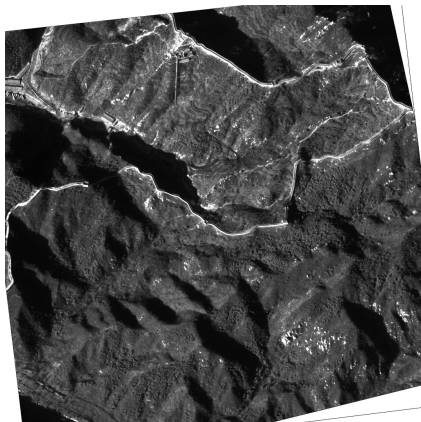
A / B



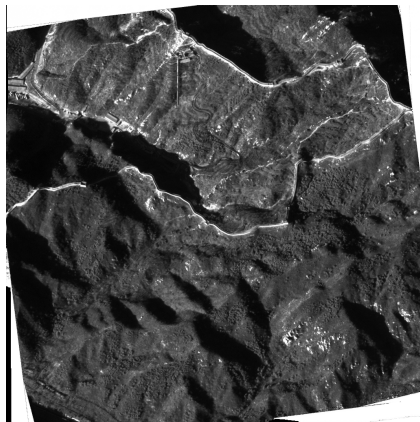
A / warped B

Pair rectifié "Grande muraille"

Crop 1024x1024, temps TVL1 = 18s



A / B



A / warped B

Pair Melbourne/Victoria

Crop rectifié 2048x2048



image B

Pair Melbourne/Victoria

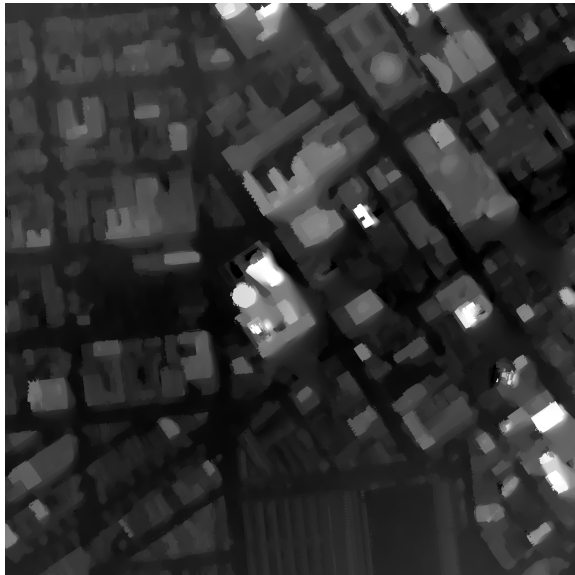
Crop rectifié 2048x2048



image A

Pair Melbourne/Victoria

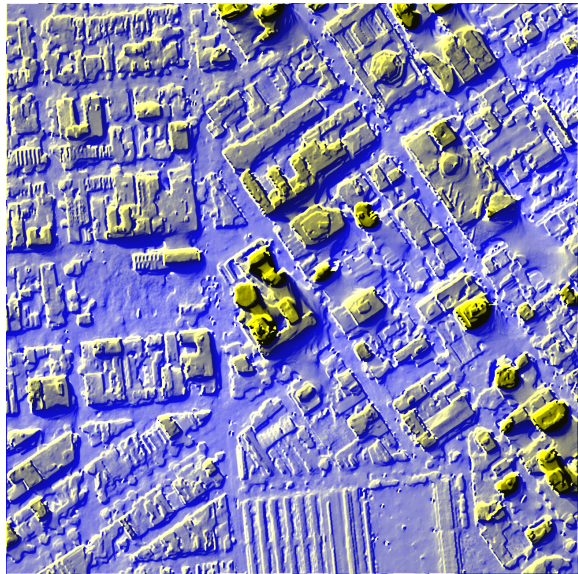
Crop rectifié 2048x2048, temps TVL1 = 149s



$|u|$

Pair Melbourne/Victoria

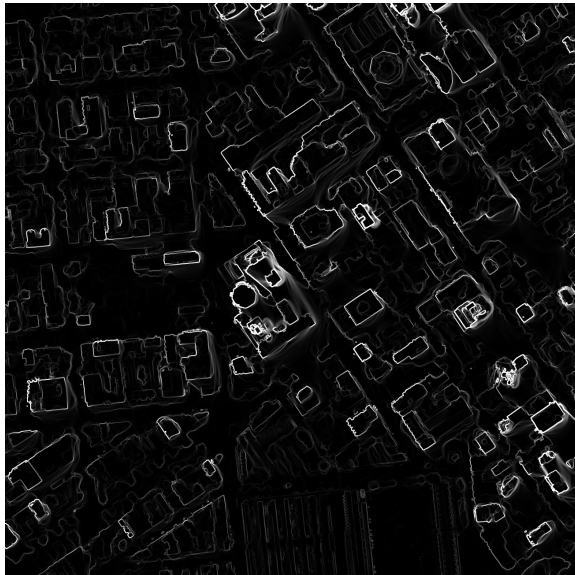
Crop rectifié 2048x2048, temps TVL1 = 149s



landscape

Pair Melbourne/Victoria

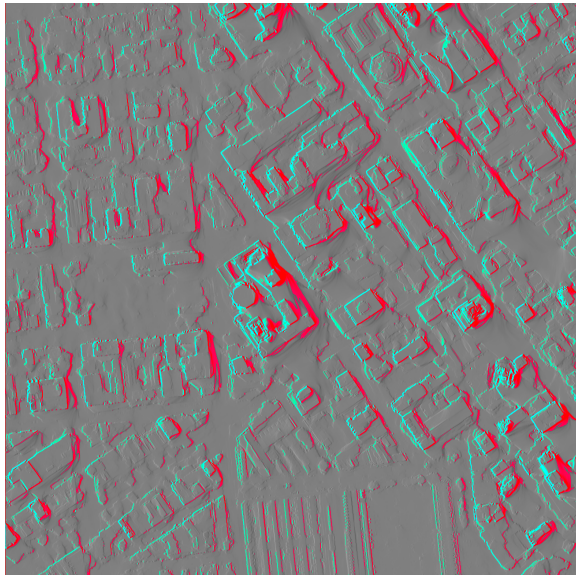
Crop rectifié 2048x2048, temps TVL1 = 149s



$|\nabla u|$

Pair Melbourne/Victoria

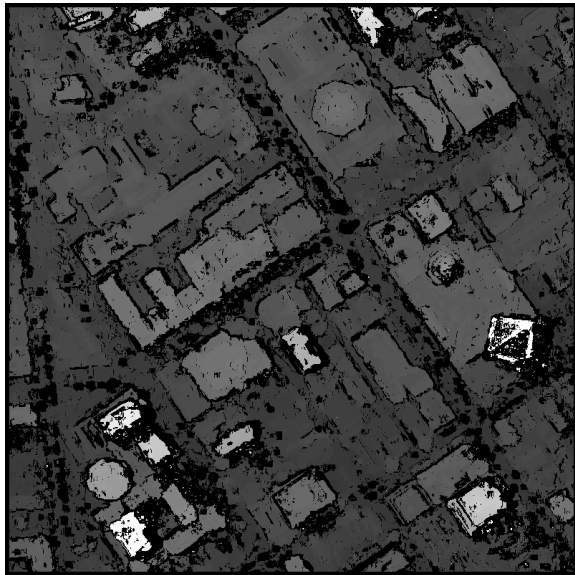
Crop rectifié 2048x2048, temps TVL1 = 149s



$\text{div}(u)$

Interpolation de disparités par flot optique

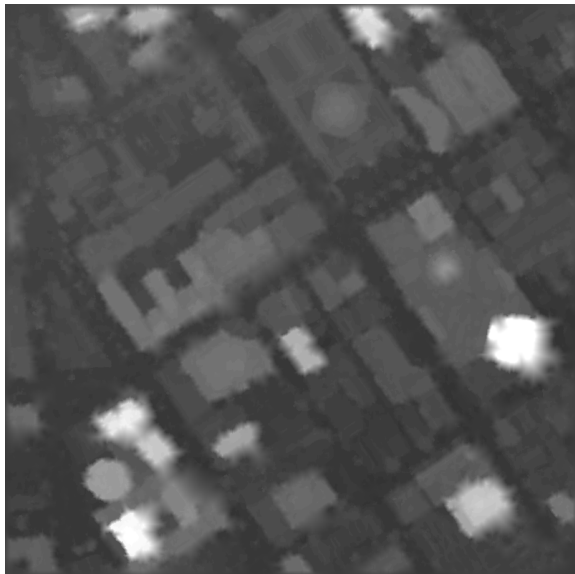
Pair Melbourne/Victoria, crop rectifié 800x800



résultat BM

Interpolation de disparités par flot optique

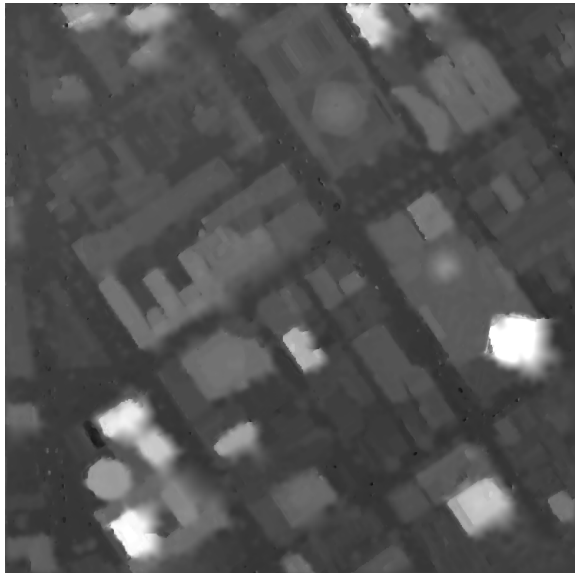
Pair Melbourne/Victoria, crop rectifié 800x800



interpolation AMLE

Interpolation de disparités par flot optique

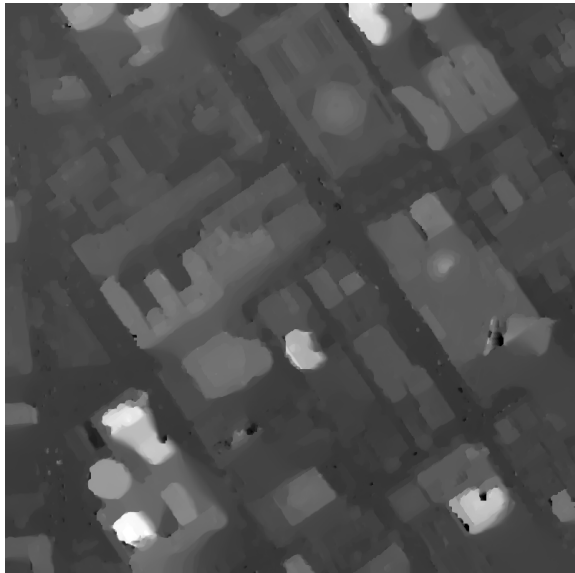
Pair Melbourne/Victoria, crop rectifié 800x800



raffinement par flot optique

Interpolation de disparités par flot optique

Pair Melbourne/Victoria, crop rectifié 800x800



flot optique tout seul

Interpolation de disparités par flot optique

Pair Melbourne/Victoria, crop rectifié 800x800



image A

Interpolation de disparités par flot optique

Pair Melbourne/Victoria, crop rectifié 800x800



image B

Séquence Melbourne/Victoria

Crops 2048x2048 des 17 images originales



image 01/17

Séquence Melbourne/Victoria

Crops 2048x2048 des 17 images originales



image 02/17

Séquence Melbourne/Victoria

Crops 2048x2048 des 17 images originales

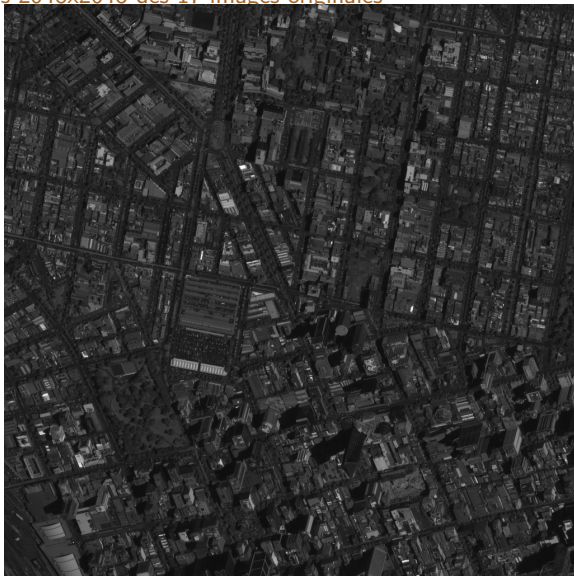


image 03/17

Séquence Melbourne/Victoria

Crops 2048x2048 des 17 images originales

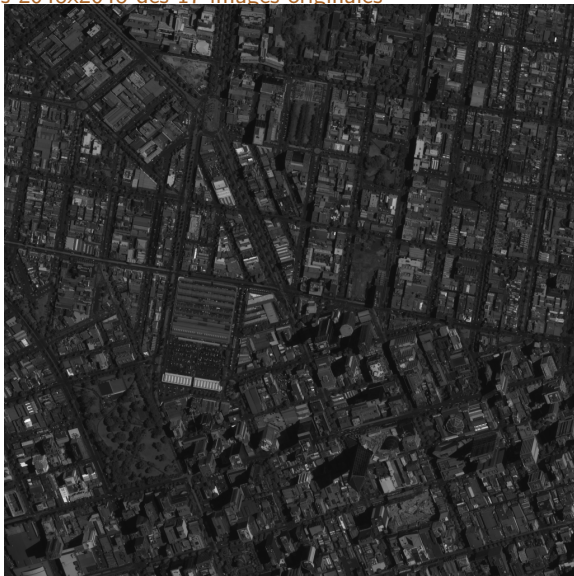


image 04/17

Séquence Melbourne/Victoria

Crops 2048x2048 des 17 images originales

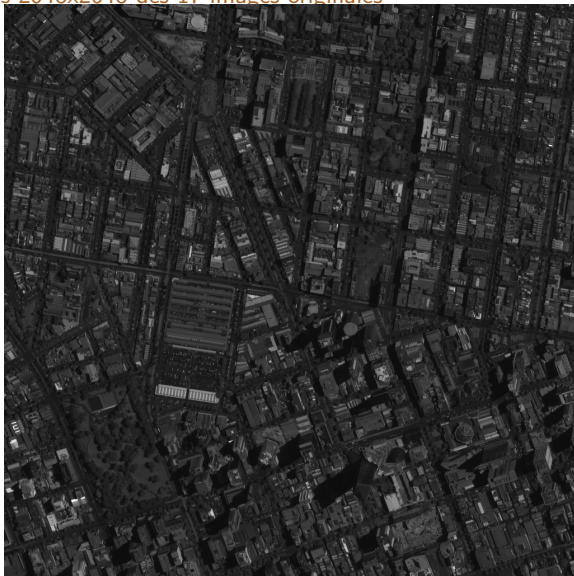


image 05/17

Séquence Melbourne/Victoria

Crops 2048x2048 des 17 images originales

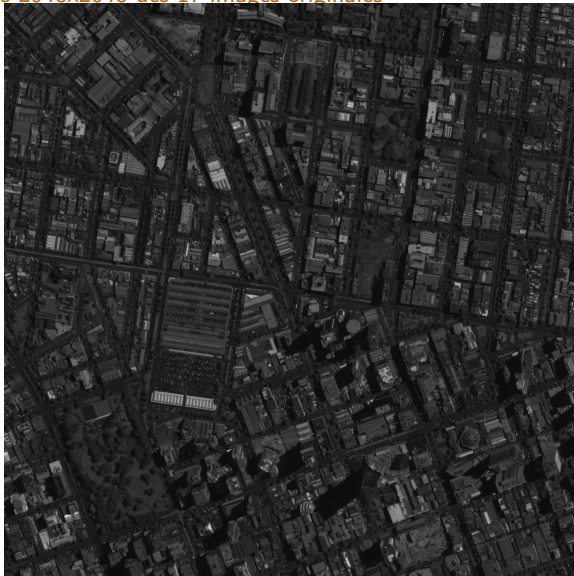


image 06/17

Séquence Melbourne/Victoria

Crops 2048x2048 des 17 images originales

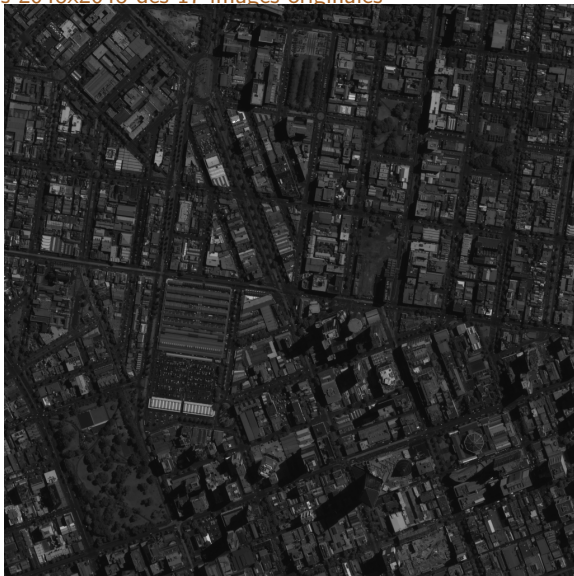


image 07/17

Séquence Melbourne/Victoria

Crops 2048x2048 des 17 images originales

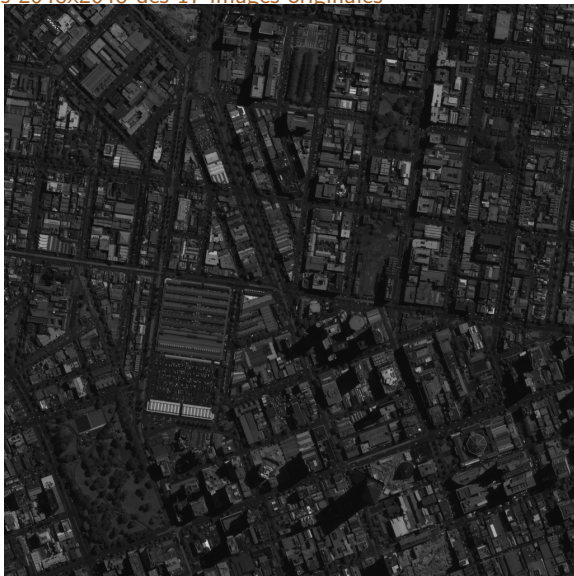


image 08/17

Séquence Melbourne/Victoria

Crops 2048x2048 des 17 images originales

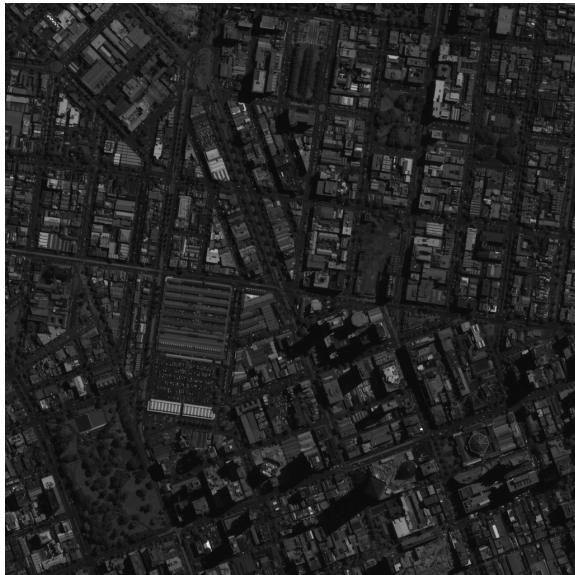


image 09/17

Séquence Melbourne/Victoria

Crops 2048x2048 des 17 images originales

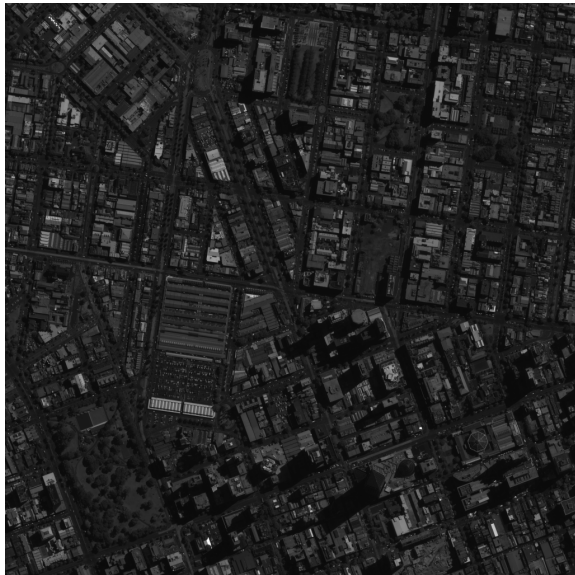


image 10/17

Séquence Melbourne/Victoria

Crops 2048x2048 des 17 images originales

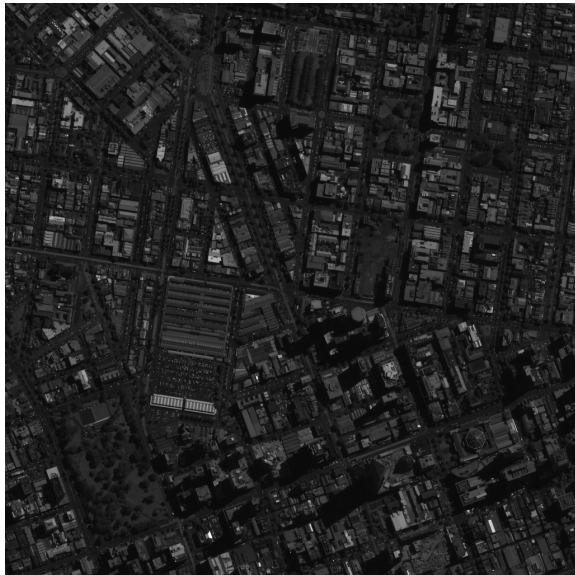


image 11/17

Séquence Melbourne/Victoria

Crops 2048x2048 des 17 images originales

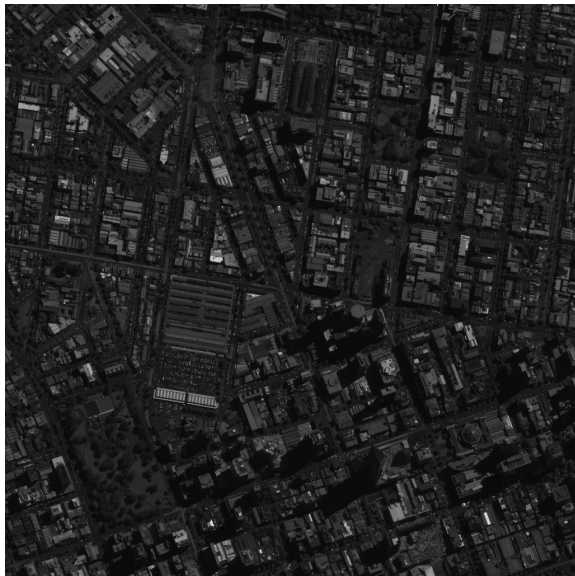


image 12/17

Séquence Melbourne/Victoria

Crops 2048x2048 des 17 images originales

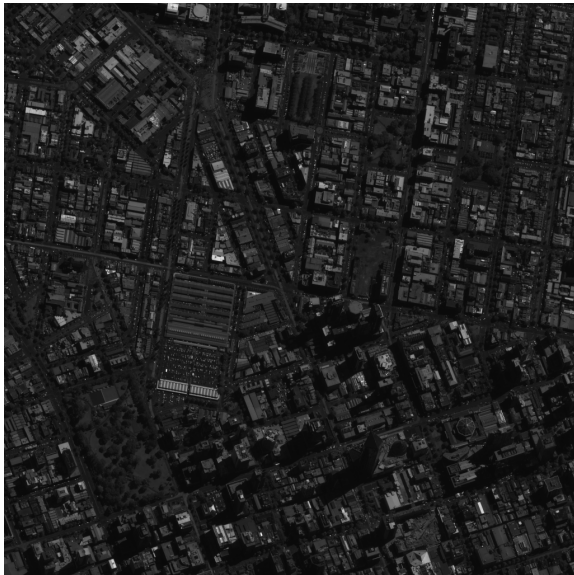


image 13/17

Séquence Melbourne/Victoria

Crops 2048x2048 des 17 images originales

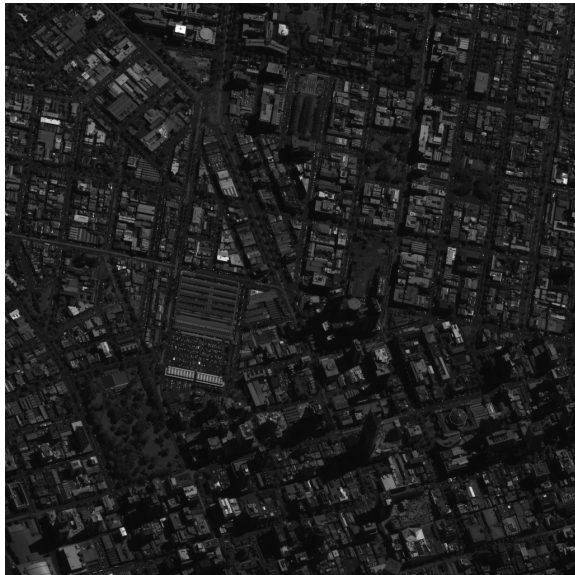


image 14/17

Séquence Melbourne/Victoria

Crops 2048x2048 des 17 images originales



image 15/17

Séquence Melbourne/Victoria

Crops 2048x2048 des 17 images originales



image 16/17

Séquence Melbourne/Victoria

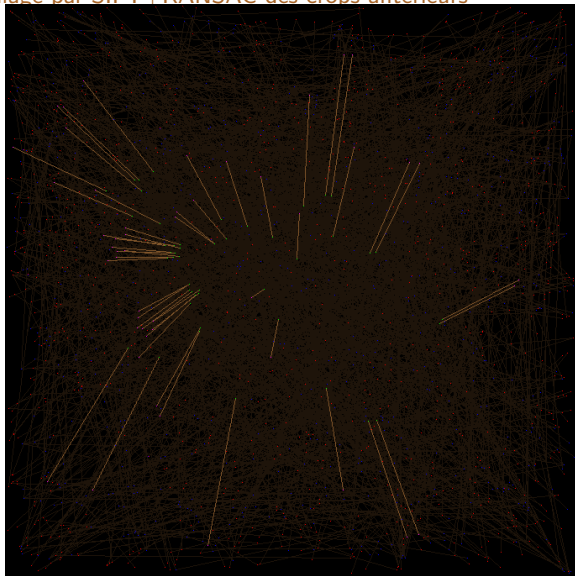
Crops 2048x2048 des 17 images originales



image 17/17

Séquence Melbourne/Victoria

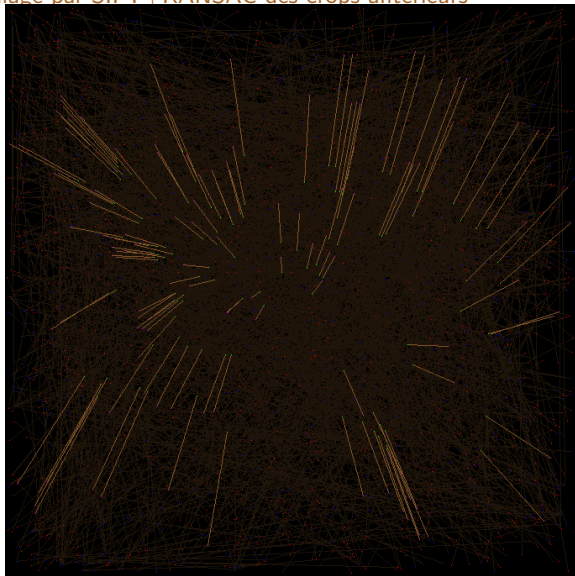
Recalage par SIFT+RANSAC des crops antérieurs



matches 09/01

Séquence Melbourne/Victoria

Recalage par SIFT+RANSAC des crops antérieurs



matches 09/02

Séquence Melbourne/Victoria

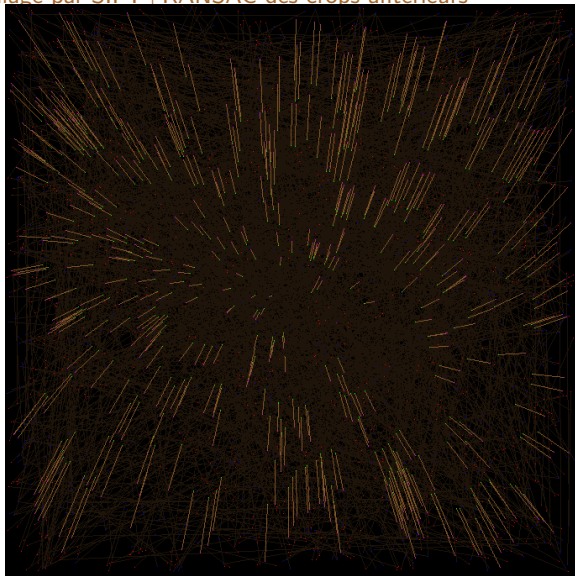
Recalage par SIFT+RANSAC des crops antérieurs



matches 09/03

Séquence Melbourne/Victoria

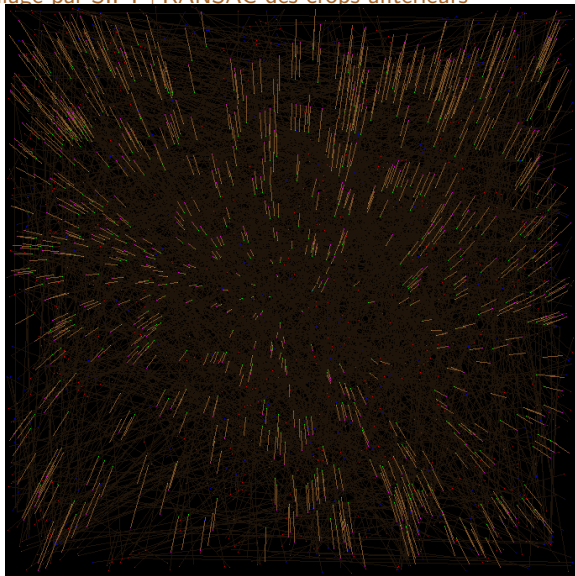
Recalage par SIFT+RANSAC des crops antérieurs



matches 09/04

Séquence Melbourne/Victoria

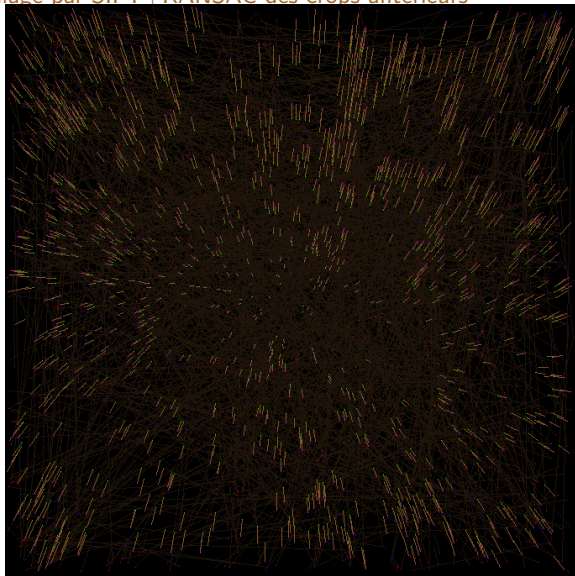
Recalage par SIFT+RANSAC des crops antérieurs



matches 09/05

Séquence Melbourne/Victoria

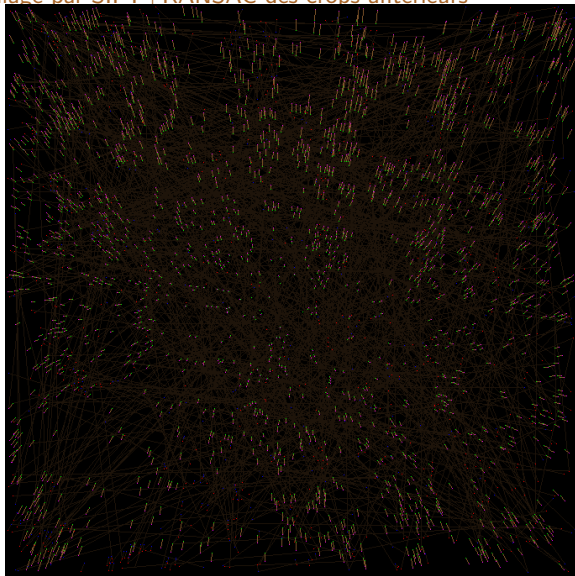
Recalage par SIFT+RANSAC des crops antérieurs



matches 09/06

Séquence Melbourne/Victoria

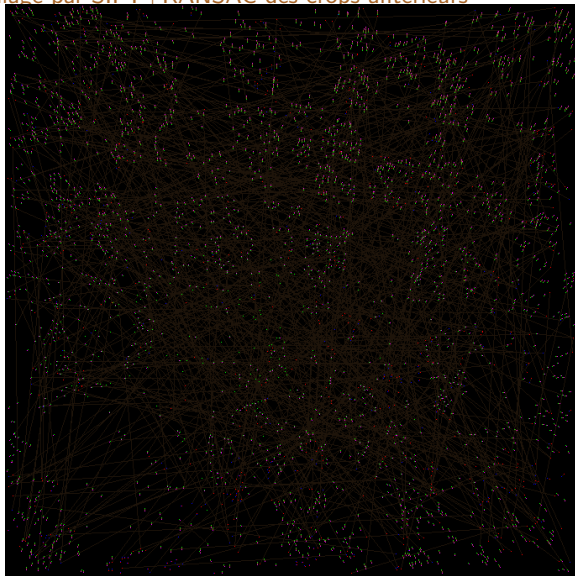
Recalage par SIFT+RANSAC des crops antérieurs



matches 09/07

Séquence Melbourne/Victoria

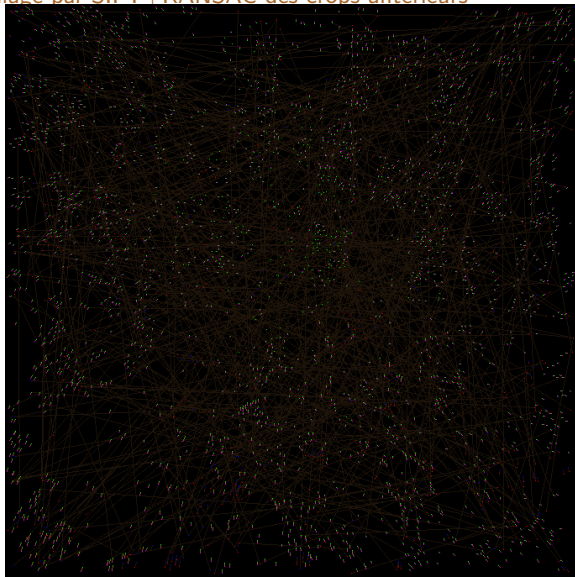
Recalage par SIFT+RANSAC des crops antérieurs



matches 09/08

Séquence Melbourne/Victoria

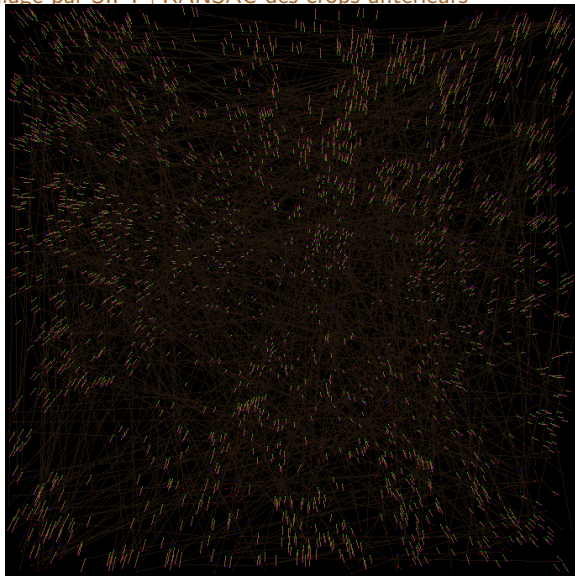
Recalage par SIFT+RANSAC des crops antérieurs



matches 09/10

Séquence Melbourne/Victoria

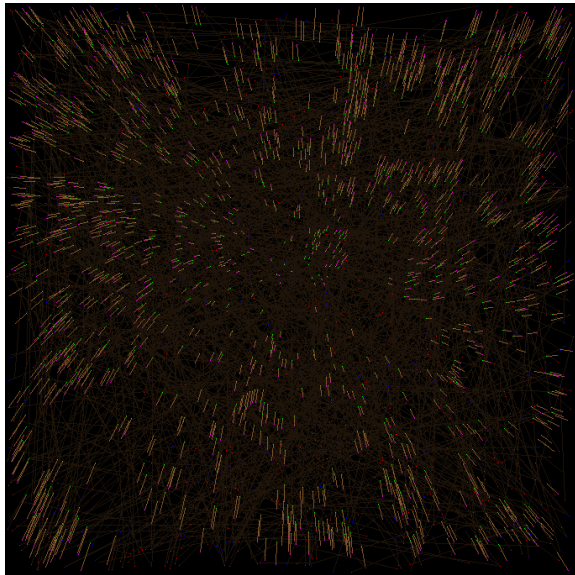
Recalage par SIFT+RANSAC des crops antérieurs



matches 09/11

Séquence Melbourne/Victoria

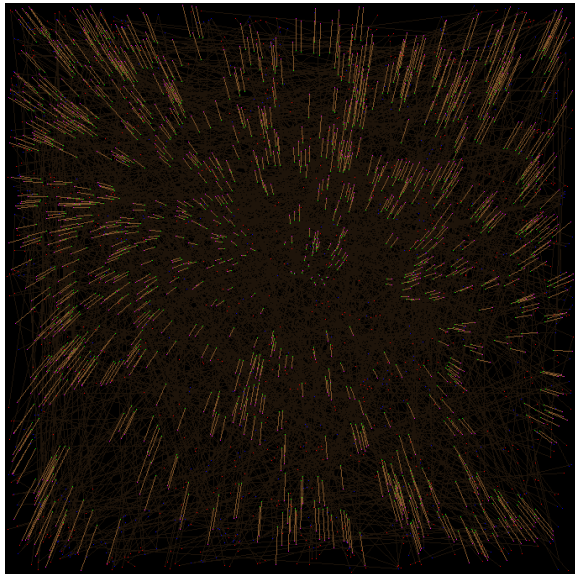
Recalage par SIFT+RANSAC des crops antérieurs



matches 09/12

Séquence Melbourne/Victoria

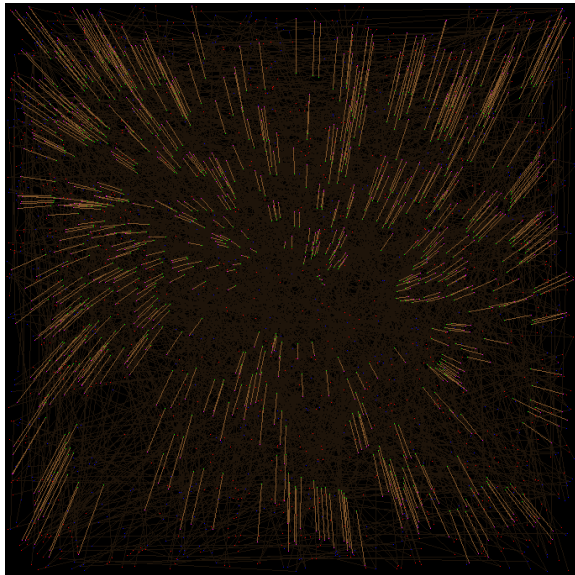
Recalage par SIFT+RANSAC des crops antérieurs



matches 09/13

Séquence Melbourne/Victoria

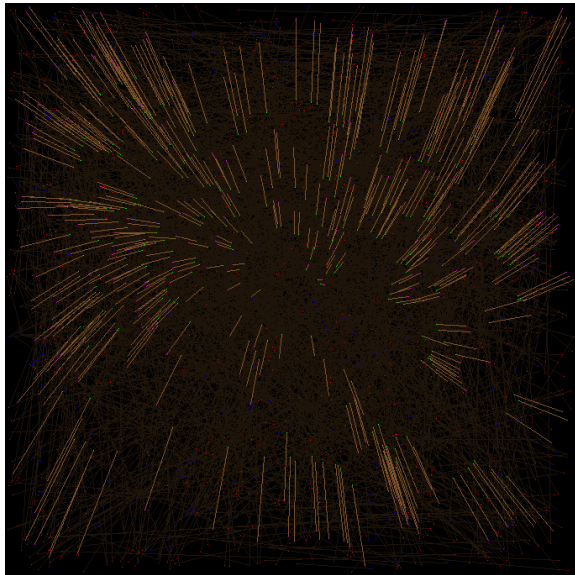
Recalage par SIFT+RANSAC des crops antérieurs



matches 09/14

Séquence Melbourne/Victoria

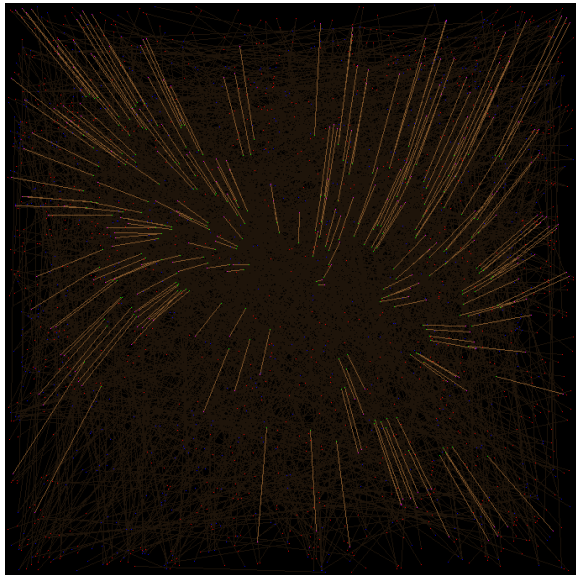
Recalage par SIFT+RANSAC des crops antérieurs



matches 09/15

Séquence Melbourne/Victoria

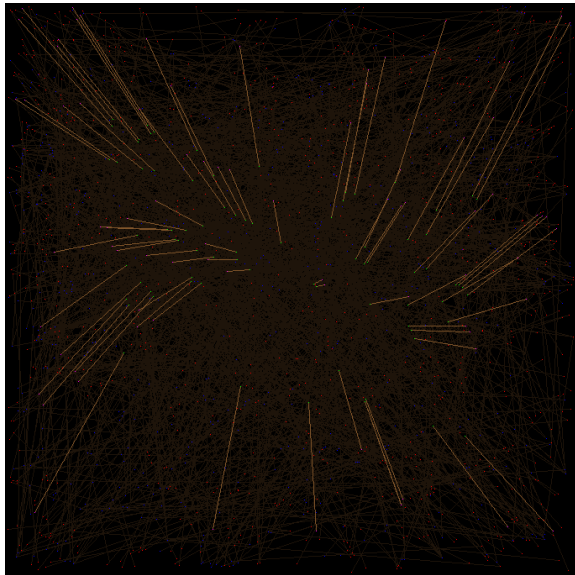
Recalage par SIFT+RANSAC des crops antérieurs



matches 09/16

Séquence Melbourne/Victoria

Recalage par SIFT+RANSAC des crops antérieurs



matches 09/17

Séquence Melbourne/Victoria

Recalage par SIFT+RANSAC des crops antérieurs



image centrale

Séquence Melbourne/Victoria

Recalage par SIFT+RANSAC des cros antérieurs



image 01/17

Séquence Melbourne/Victoria

Recalage par SIFT+RANSAC des crops antérieurs



image 02/17

Séquence Melbourne/Victoria

Recalage par SIFT+RANSAC des crops antérieurs



image 03/17

Séquence Melbourne/Victoria

Recalage par SIFT+RANSAC des crops antérieurs

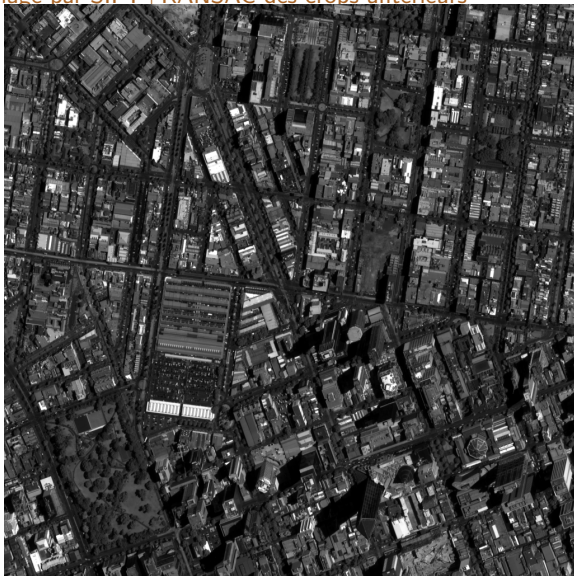


image 04/17

Séquence Melbourne/Victoria

Recalage par SIFT+RANSAC des crops antérieurs



image 05/17

Séquence Melbourne/Victoria

Recalage par SIFT+RANSAC des crops antérieurs



image 06/17

Séquence Melbourne/Victoria

Recalage par SIFT+RANSAC des crops antérieurs



image 07/17

Séquence Melbourne/Victoria

Recalage par SIFT+RANSAC des crops antérieurs

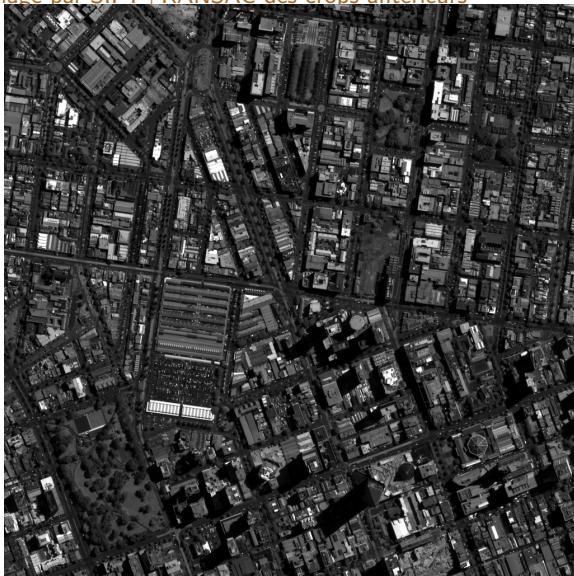


image 08/17

Séquence Melbourne/Victoria

Recalage par SIFT+RANSAC des crops antérieurs

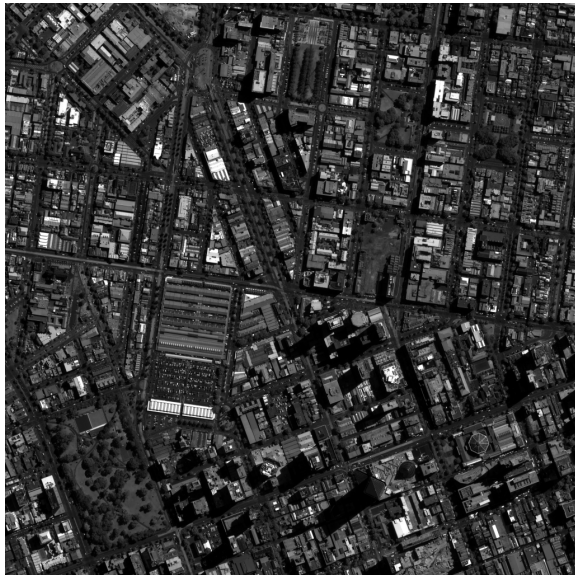


image 09/17

Séquence Melbourne/Victoria

Recalage par SIFT+RANSAC des crops antérieurs

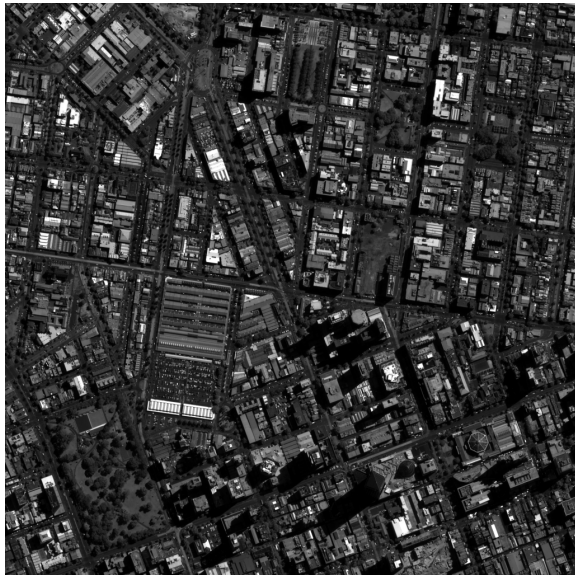


image 10/17

Séquence Melbourne/Victoria

Recalage par SIFT+RANSAC des crops antérieurs



image 11/17

Séquence Melbourne/Victoria

Recalage par SIFT+RANSAC des crops antérieurs



image 12/17

Séquence Melbourne/Victoria

Recalage par SIFT+RANSAC des crops antérieurs



image 13/17

Séquence Melbourne/Victoria

Recalage par SIFT+RANSAC des crops antérieurs



image 14/17

Séquence Melbourne/Victoria

Recalage par SIFT+RANSAC des crops antérieurs



image 15/17

Séquence Melbourne/Victoria

Recalage par SIFT+RANSAC des crops antérieurs



image 16/17

Séquence Melbourne/Victoria

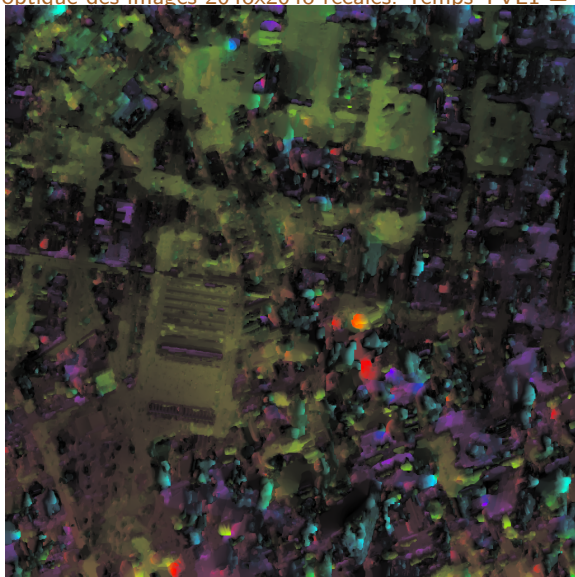
Recalage par SIFT+RANSAC des crops antérieurs



image 17/17

Séquence Melbourne/Victoria

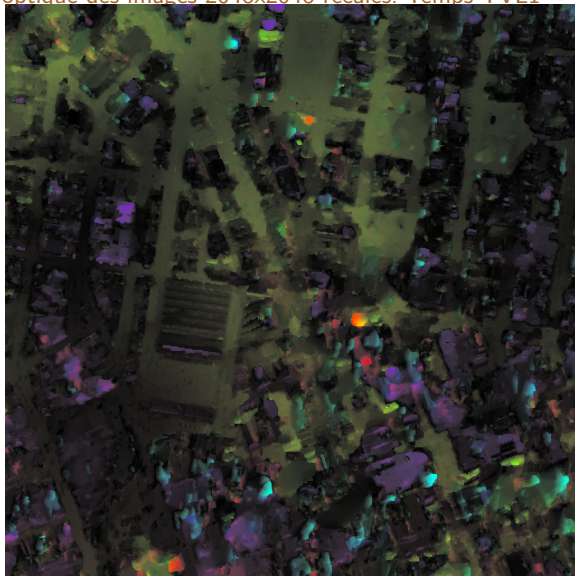
Flot optique des images 2048x2048 recalés. Temps TVL1 = 70s par image



flot 09/01

Séquence Melbourne/Victoria

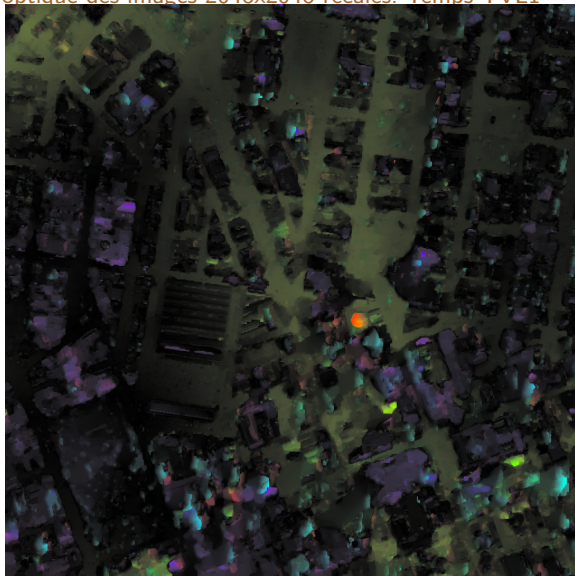
Flot optique des images 2048x2048 recalés. Temps TVL1 = 70s par image



flot 09/02

Séquence Melbourne/Victoria

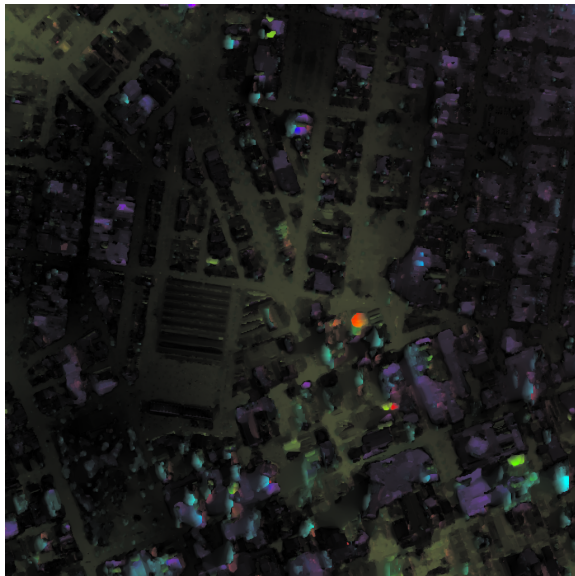
Flot optique des images 2048x2048 recalés. Temps TVL1 = 70s par image



flot 09/03

Séquence Melbourne/Victoria

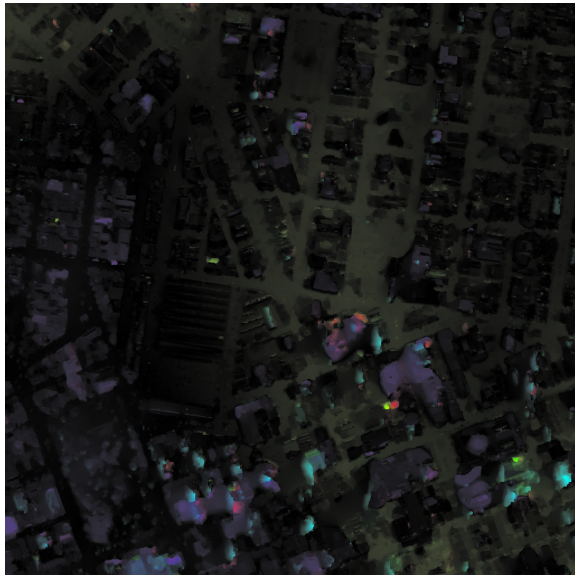
Flot optique des images 2048x2048 recalés. Temps TVL1 = 70s par image



flot 09/04

Séquence Melbourne/Victoria

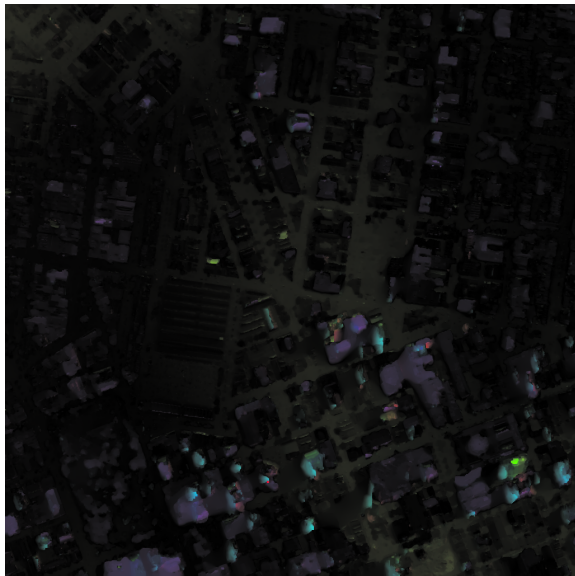
Flot optique des images 2048x2048 recalés. Temps TVL1 = 70s par image



flot 09/05

Séquence Melbourne/Victoria

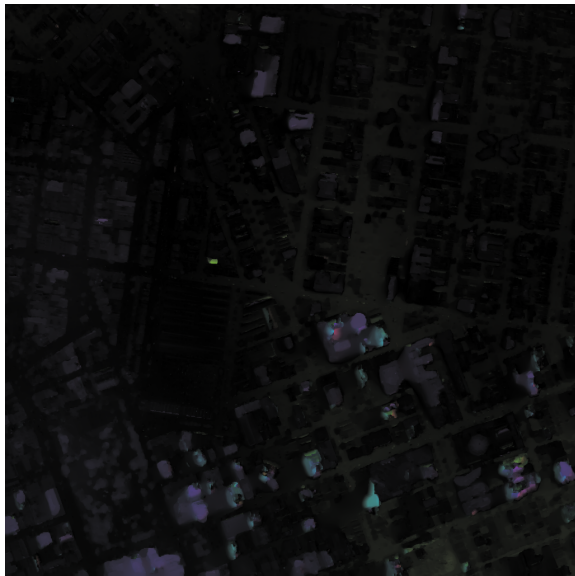
Flot optique des images 2048x2048 recalés. Temps TVL1 = 70s par image



flot 09/06

Séquence Melbourne/Victoria

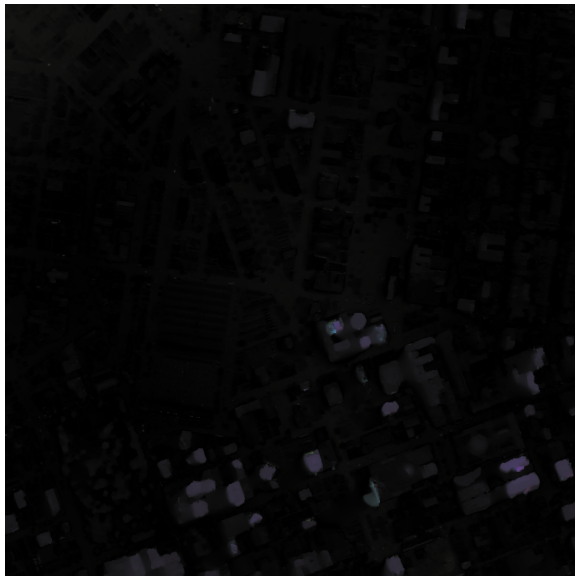
Flot optique des images 2048x2048 recalés. Temps TVL1 = 70s par image



flot 09/07

Séquence Melbourne/Victoria

Flot optique des images 2048x2048 recalés. Temps TVL1 = 70s par image



flot 09/08

Séquence Melbourne/Victoria

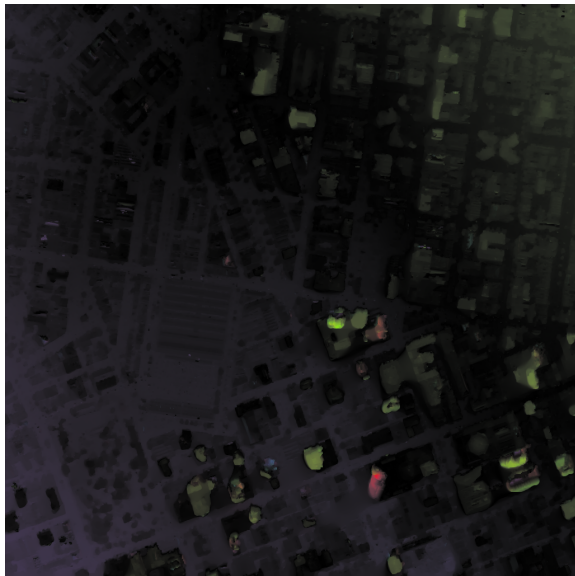
Flot optique des images 2048x2048 recalés. Temps TVL1 = 70s par image



flot 09/10

Séquence Melbourne/Victoria

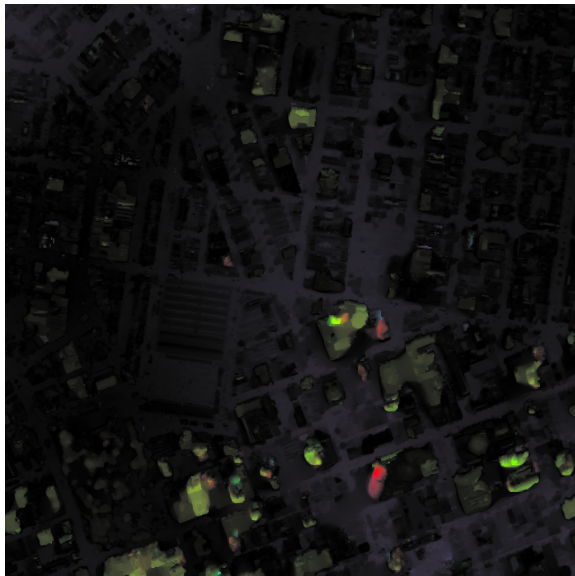
Flot optique des images 2048x2048 recalés. Temps TVL1 = 70s par image



flot 09/11

Séquence Melbourne/Victoria

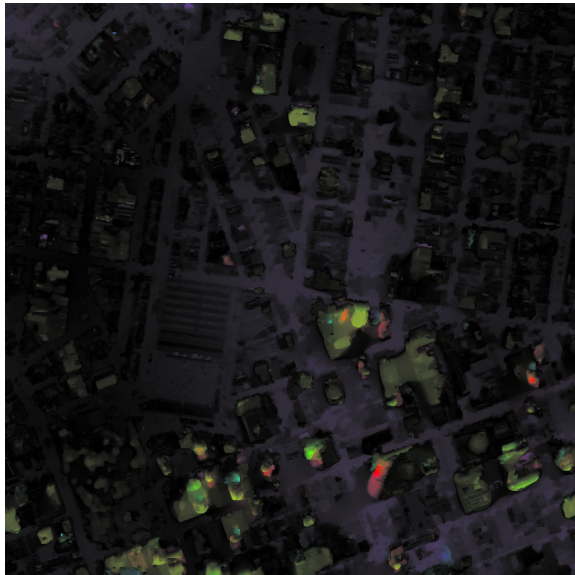
Flot optique des images 2048x2048 recalés. Temps TVL1 = 70s par image



flot 09/12

Séquence Melbourne/Victoria

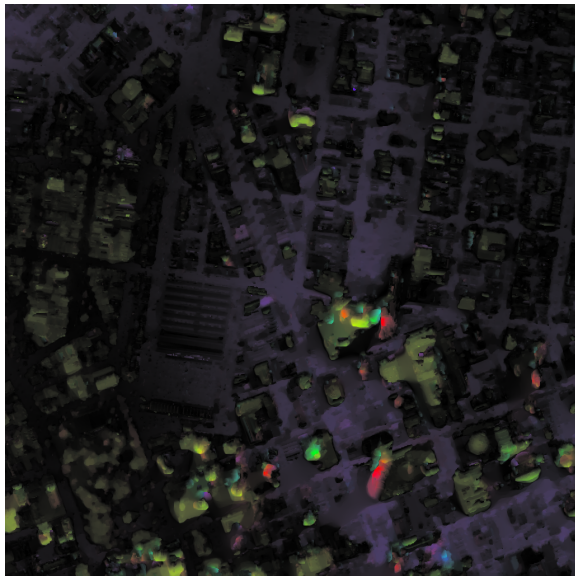
Flot optique des images 2048x2048 recalés. Temps TVL1 = 70s par image



flot 09/13

Séquence Melbourne/Victoria

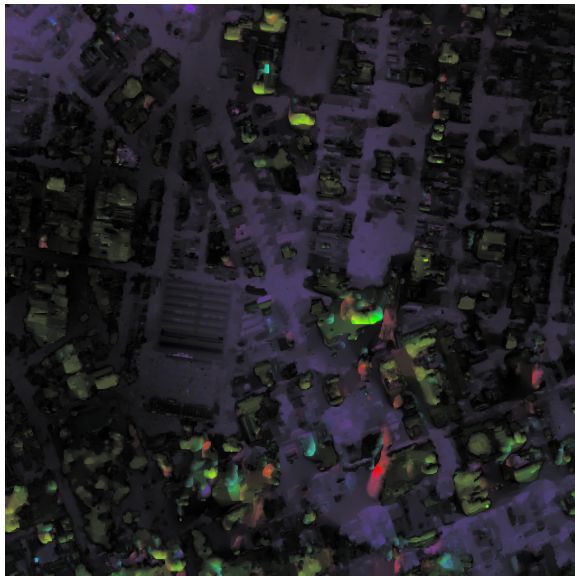
Flot optique des images 2048x2048 recalés. Temps TVL1 = 70s par image



flot 09/14

Séquence Melbourne/Victoria

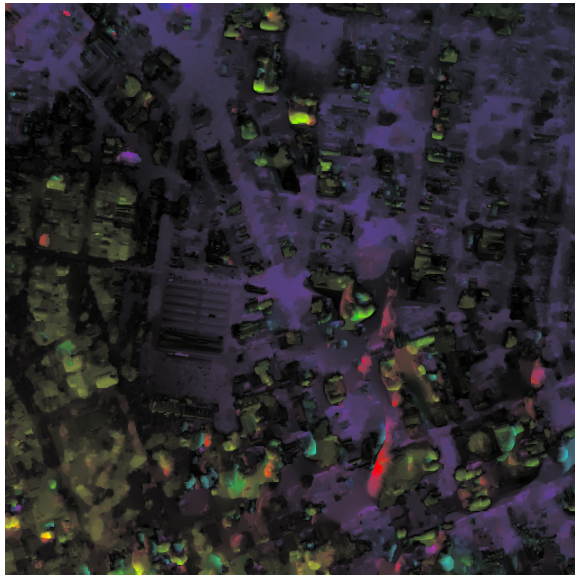
Flot optique des images 2048x2048 recalés. Temps TVL1 = 70s par image



flot 09/15

Séquence Melbourne/Victoria

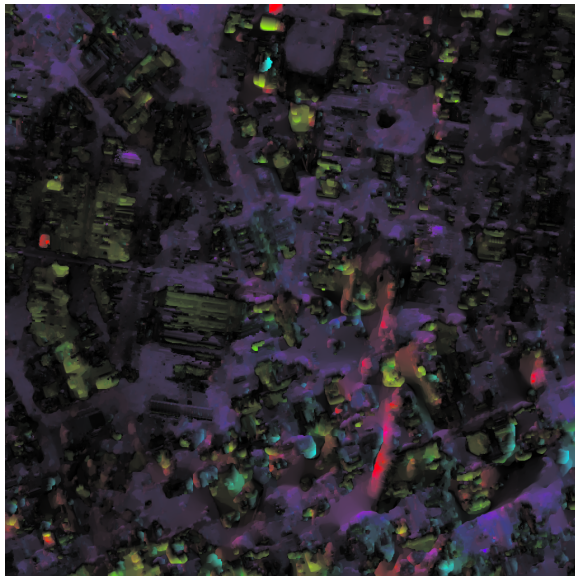
Flot optique des images 2048x2048 recalés. Temps TVL1 = 70s par image



flot 09/16

Séquence Melbourne/Victoria

Flot optique des images 2048x2048 recalés. Temps TVL1 = 70s par image



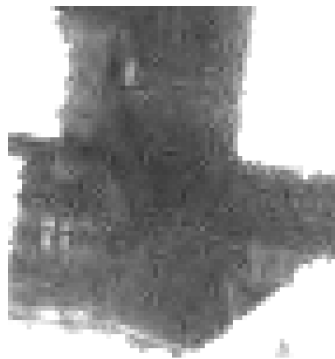
flot 09/17

Séquence Melbourne/Victoria

Débruitage à partir des 7 images centrales



original / débruitée



(detail)

Séquence Melbourne/Victoria

Débruitage à partir des 7 images centrales



original / débruitée



(detail)

Moyenne le long du flot = débruitage

Paire "muraille/reservoir", taille=2048x2048, temps HS=40s



A / B



A / warped B

Moyenne le long du flot = débruitage

Paire "muraille/reservoir", taille=2048x2048, temps HS=40s



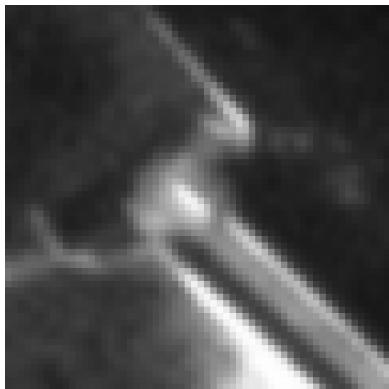
A / B



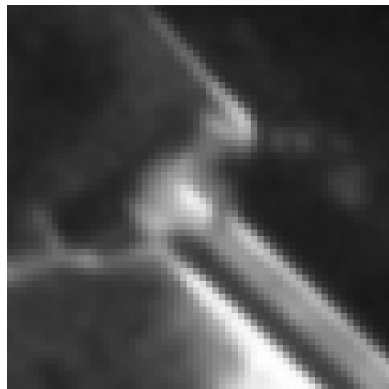
A / warped B

Moyenne le long du flot = débruitage

Paire "muraille/reservoir", taille=2048x2048, temps HS=40s



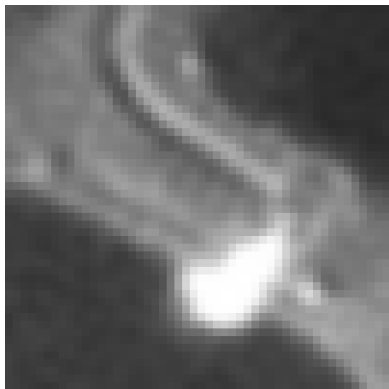
A (detail)



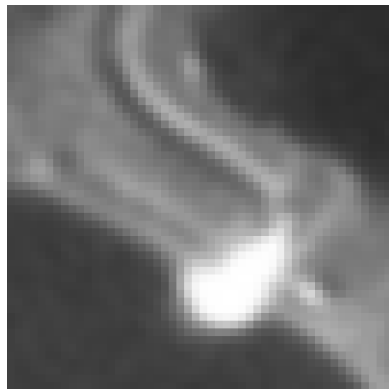
A débruitée (detail)

Moyenne le long du flot = débruitage

Paire "muraille/reservoir", taille=2048x2048, temps HS=40s



A (detail)



A débruitée (detail)

Conclusion

Le flot optique est un outil dont son intérêt pour les images satellitales n'est pas clair, mais il mérite être étudié.

- ▶ Précision sous-pixeliene par défaut
- ▶ Seulement petites disparités
- ▶ Pas besoin de stéréo-réctification
- ▶ Très sensible aux changements d'illumination