

Vision par ordinateur : application à l'imagerie MEB

Guy Le Besnerais
ONERA/DTIS

Guy.Le_Besnerais@onera.fr



retour sur innovation

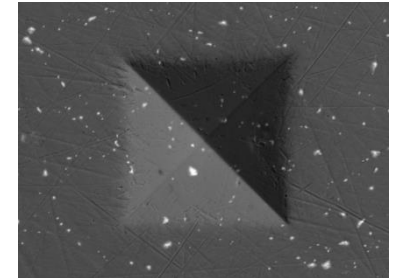
- Introduction : quel usage pour les images ?
- Vision et applications
- Qualité image
- Vision géométrique
- Perspectives

Introduction

- L'image est une source d'information essentielle pour l'humain
 - 1980 : vision artificielle [D. Maar «Vision» 1982]

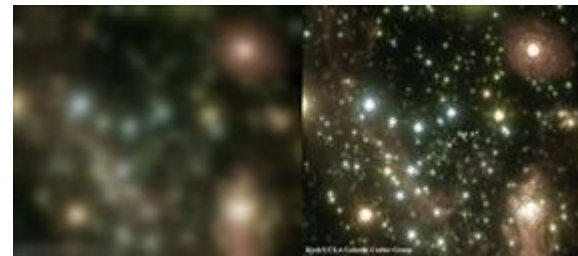
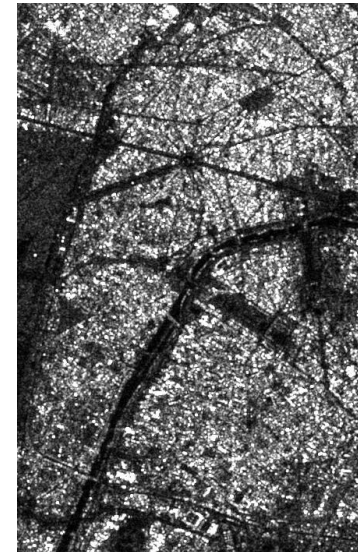
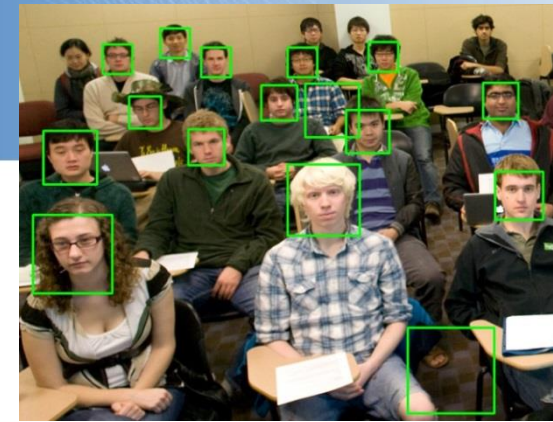


- Aujourd'hui que fait la vision par ordinateur ?
 - Mesure de quantités relatives à l'intensité image
 - Mesure de quantités géométriques
 - Distance, angle, profondeur, mouvement
 - Produire ou aider à produire des interprétations/décisions
 - Sémantisation, classification, catégorisation, reconnaissance



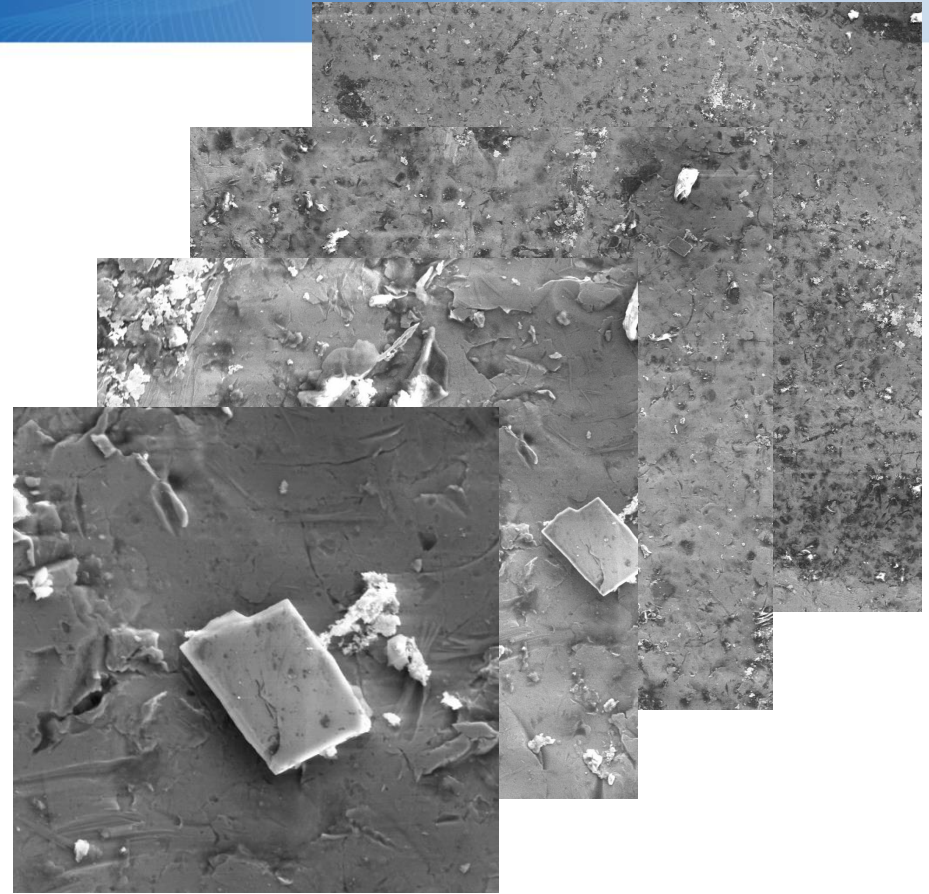
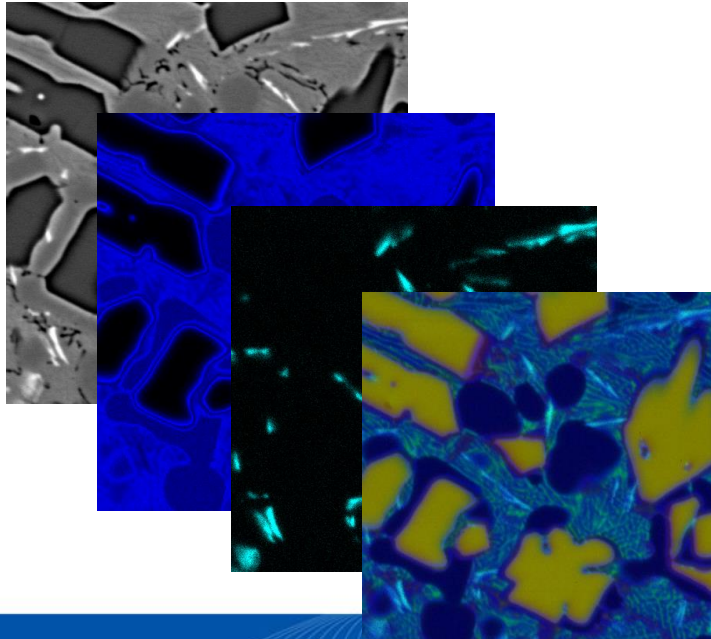
Vision : domaines d'application

- Applications grand public et jeux
- Télédétection
- Imagerie biomédicale
- Robotique autonome
- Astronomie
- ...
- Mécanique



Liens entre domaines d'application

- Télédétection et MEB
 - Des images acquises par balayage...
 - ...multi-échelle...
 - ...multispectrales

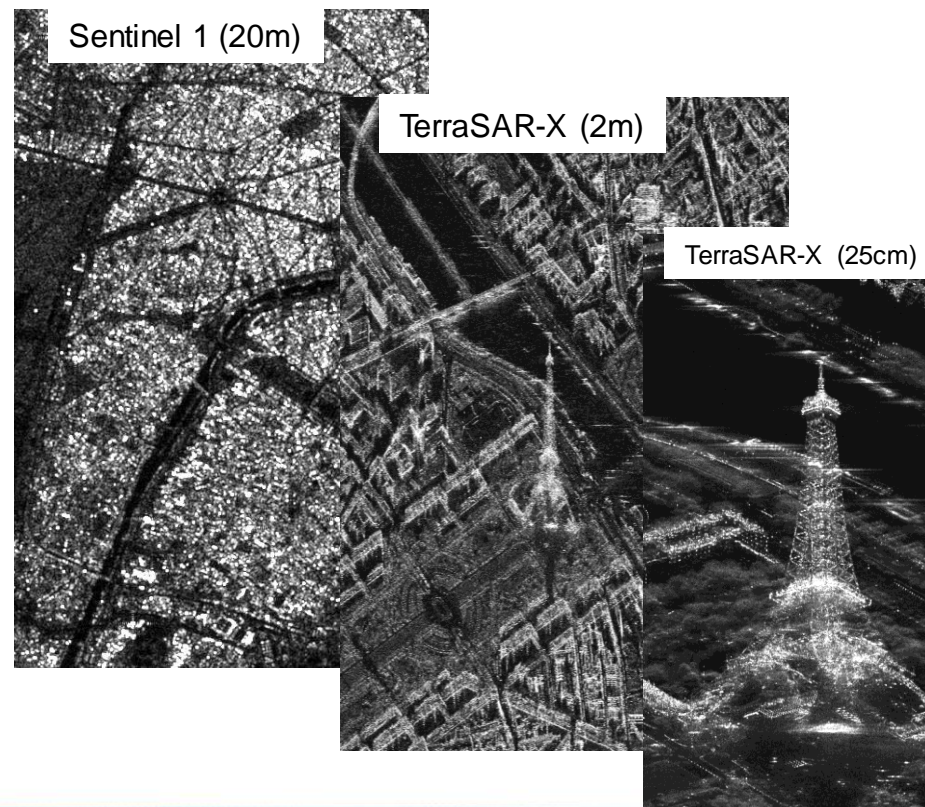
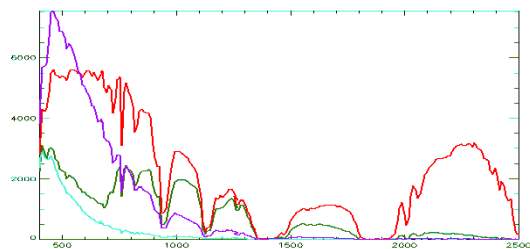
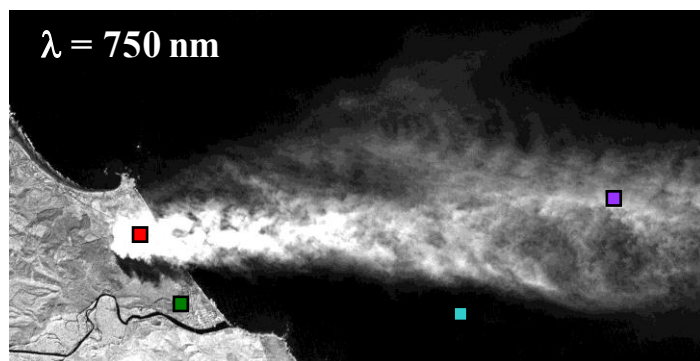
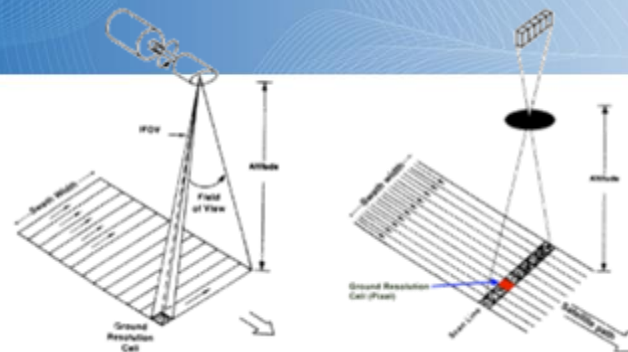


Images ONERA (D. Boivin, Y. Renollet)

Imagerie spectrale, ONERA (D. Boivin)

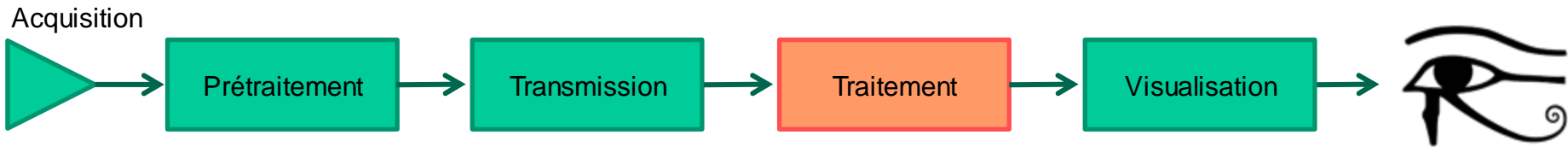
Liens entre domaines d'application

- Télédétection et MEB
 - Des images acquises par balayage...
 - ...multi-échelle...
 - ...multispectrales



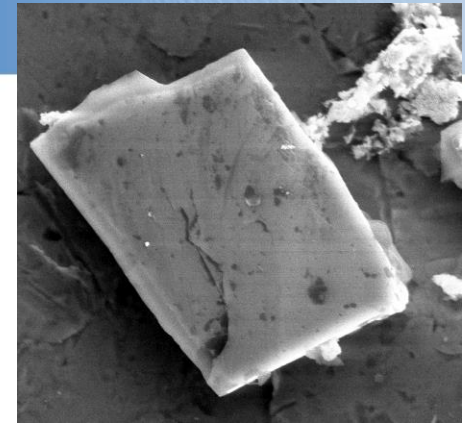
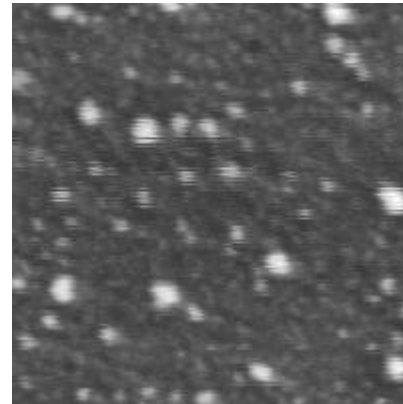
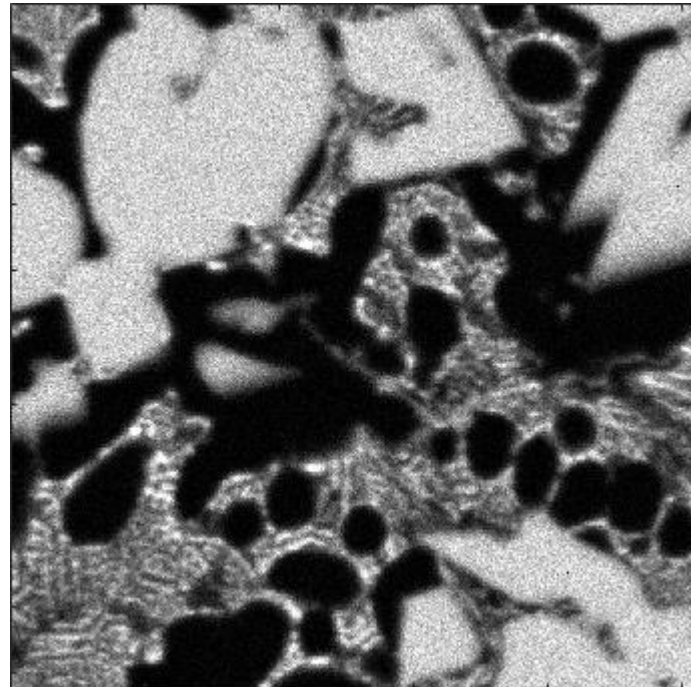
Crédit image : A. Alakian, E. Koeniguer, ONERA

- Introduction : quel usage pour les images ?
- Vision et applications
- **Qualité image**
 - Bruit, Flou...
- Vision géométrique
- Perspectives



- Amélioration d'image = combattre les dégradations qui gênent l'interprétation et la mesure
 - Bruit
 - Spatialement décorrélé
 - Structuré (eg. bruit en ligne/colonne)
 - Flou
 - Défaut de mise au point
 - Profondeur de champ limitée : flou de défocalisation

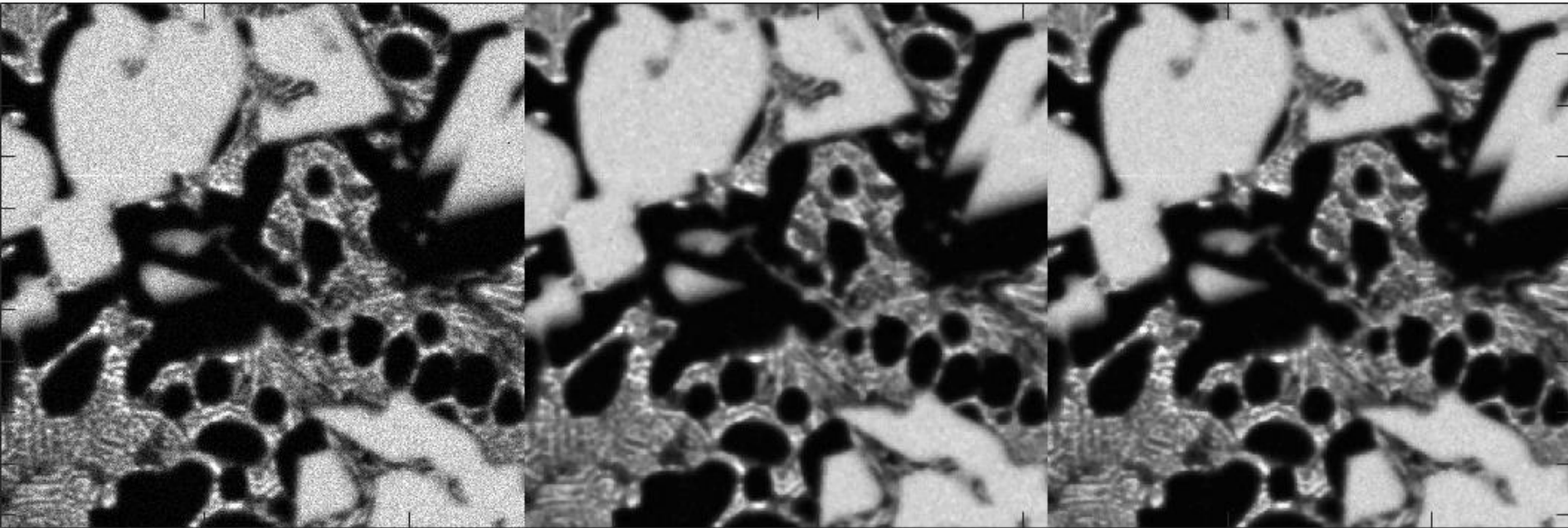
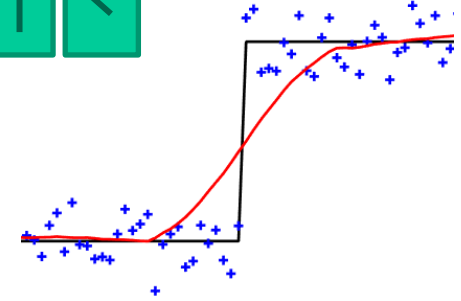
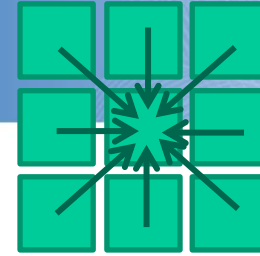
Bruit



Données D. Boivin, ONERA, 2017

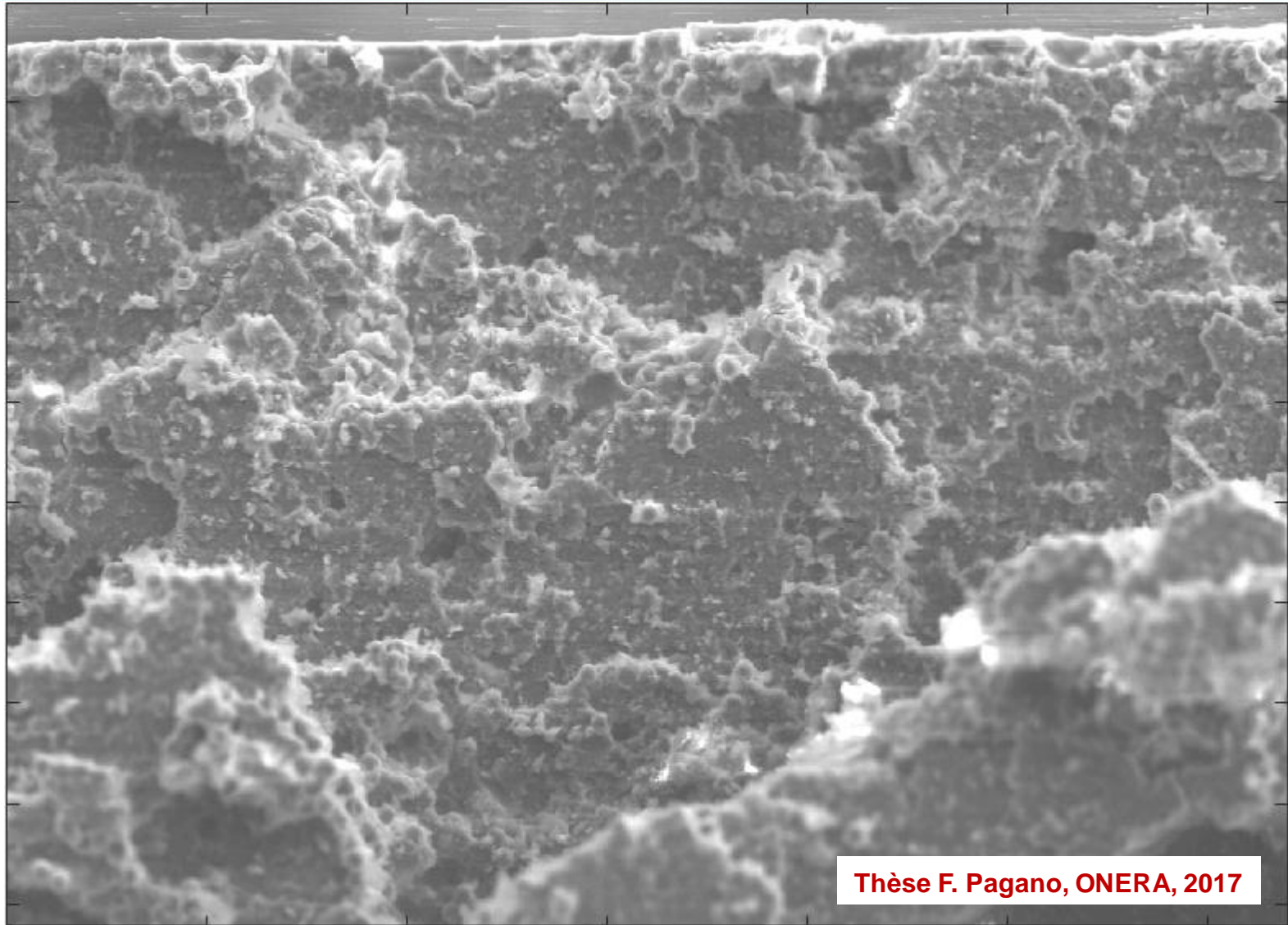
Débruitage

- Principe = moyennage par filtrage
 - Gaussien, médian
 - Filtrage non linéaire (ondelettes)
 - Filtrage sélectif : bilatéral, méthodes à patch
 - Moyennage temporel



Données D. Boivin, ONERA, 2017

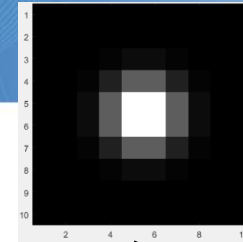
Flou de défocalisation



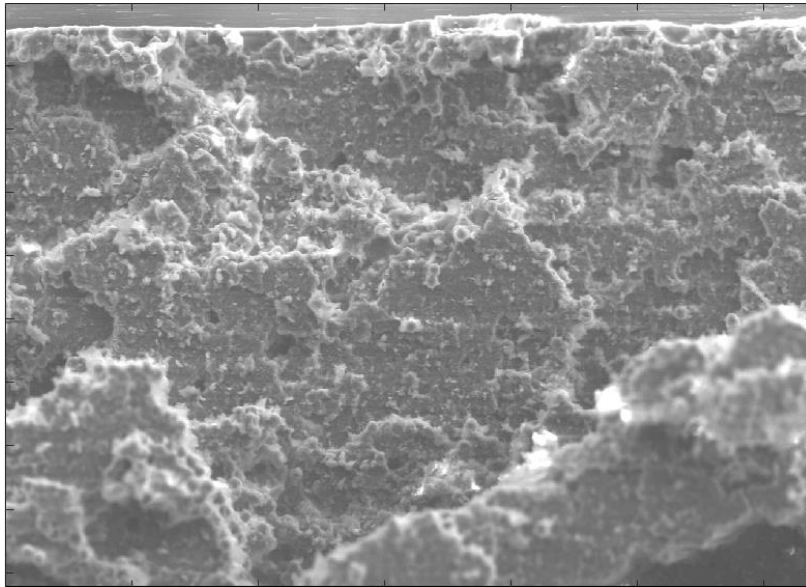
Thèse F. Pagano, ONERA, 2017

Défocalisation et profondeur

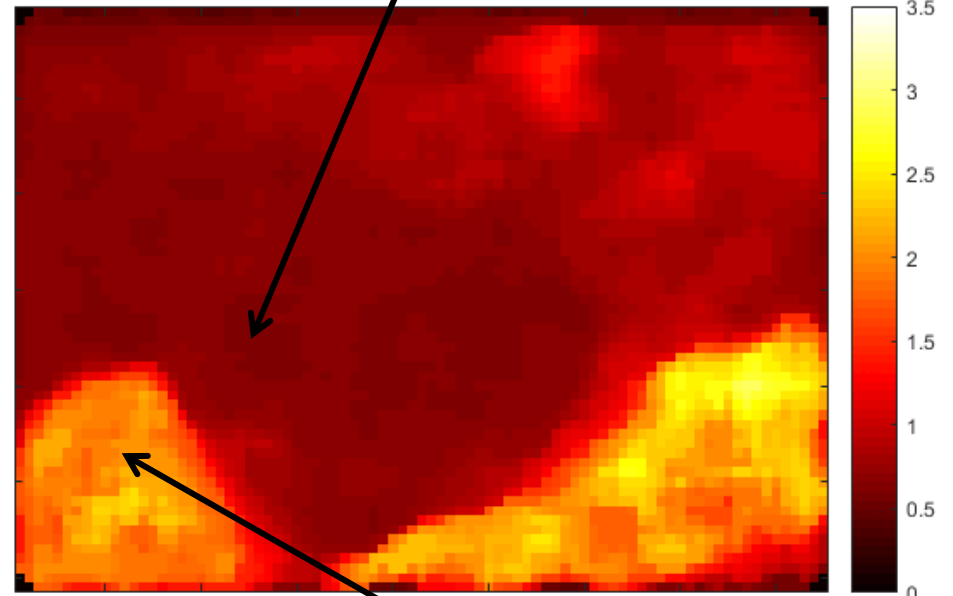
- Estimation du niveau de flou local



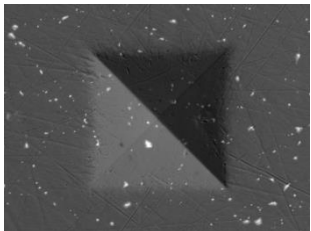
sigma=0.8



Thèse F. Pagano, ONERA, 2017

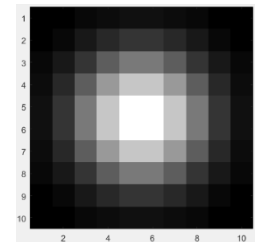


Traitement : P. Trouvé-Peloux, ONERA/DTIS, 2017



« Depth from defocus » : information de profondeur sur épreuves « très 3D » complémentaire au contraste topographique ?

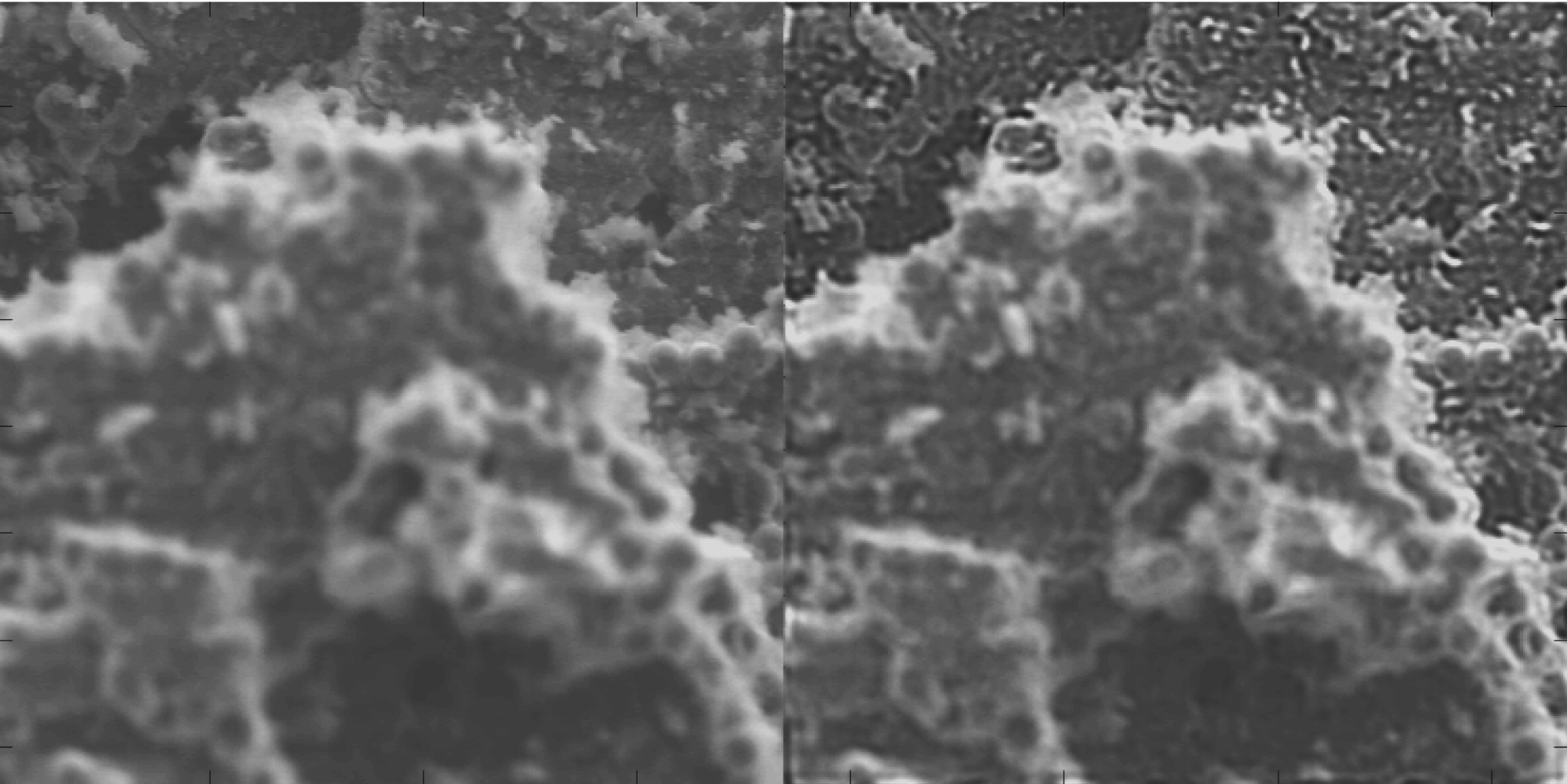
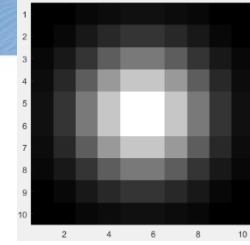
sigma=2



Revenir sur le flou ?

- Il existe des méthodes de « déconvolution »
 - mais pas de miracle...

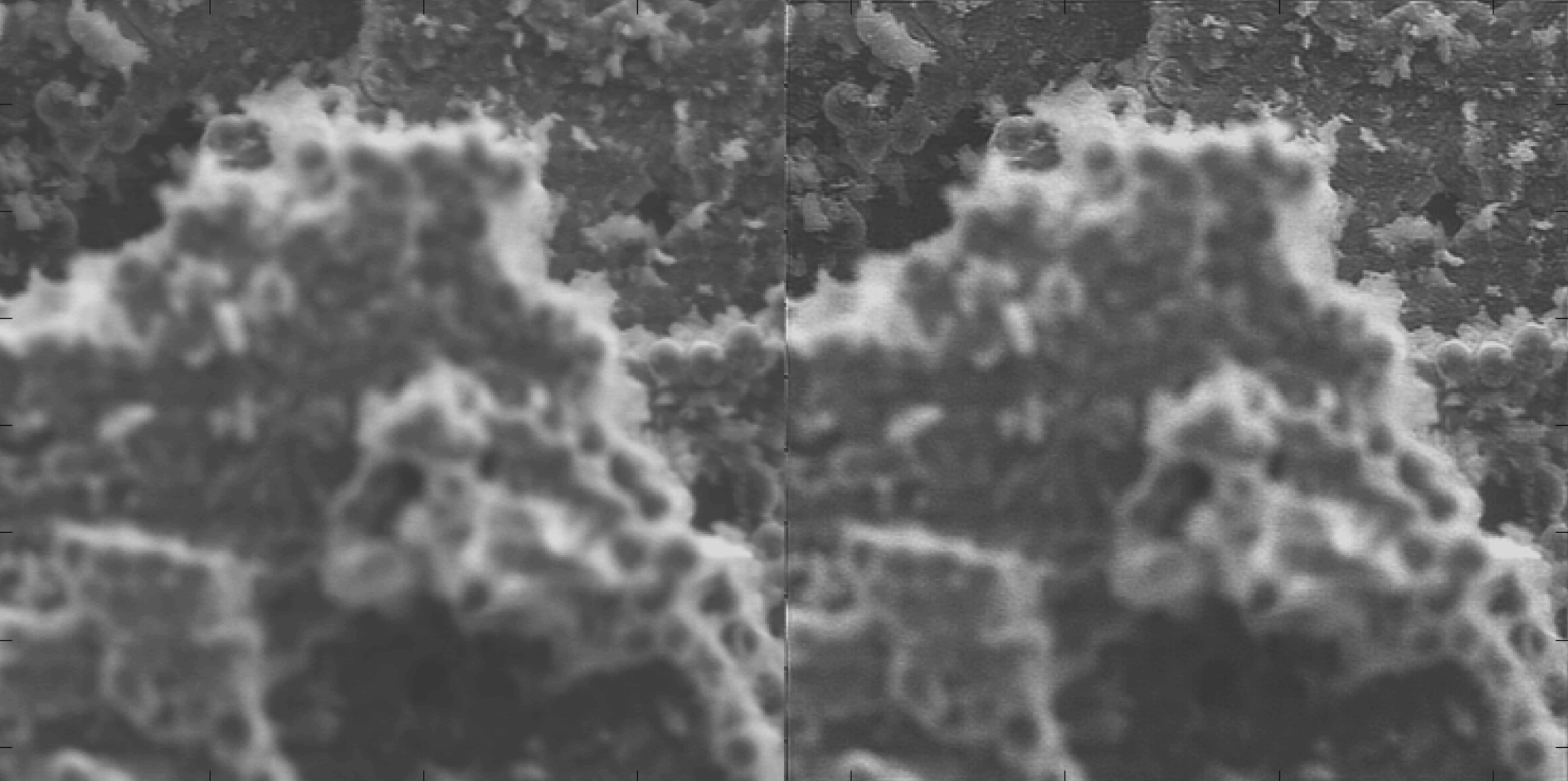
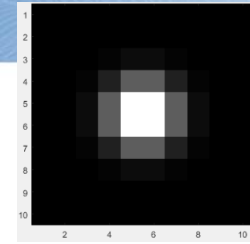
sigma=2.0



Revenir sur le flou ?

- Il existe des méthodes de « déconvolution »
 - mais pas de miracle...

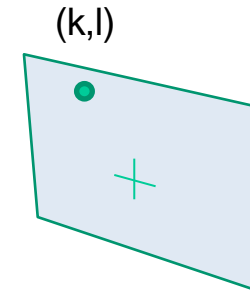
sigma=0.8



- Introduction : quel usage pour les images ?
- Vision et applications
- Qualité image
- Vision géométrique
 - Modélisation géométrique
 - Mesures géométriques
 - Appariement d'images
 - Stéréovision
 - Estimation de mouvement dense, flot optique
- Perspectives

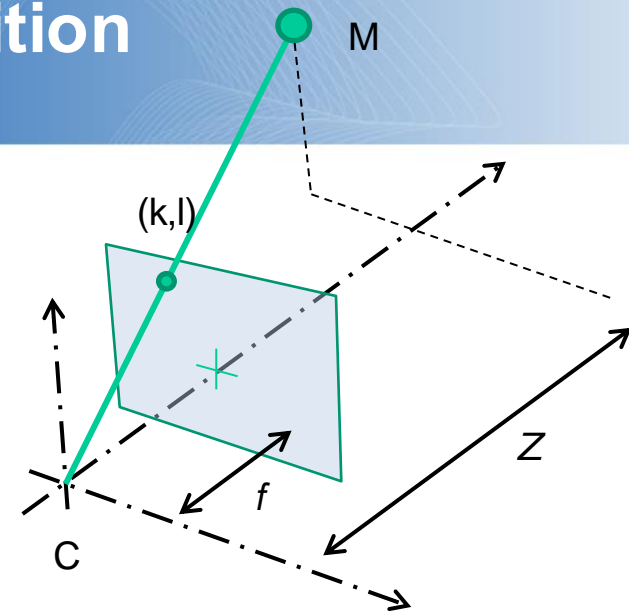
Modèle géométrique de l'acquisition

- D'où vient l'intensité du pixel (k,l) ?



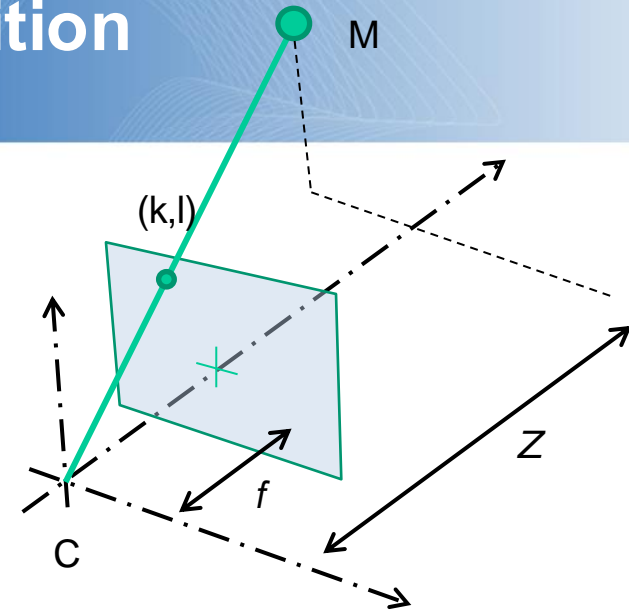
Modèle géométrique de l'acquisition

- D'où vient l'intensité du pixel (k,l) ?
- Modèle fondateur en vision : sténopé
 - Projection centrale
 - Notion de grandissement

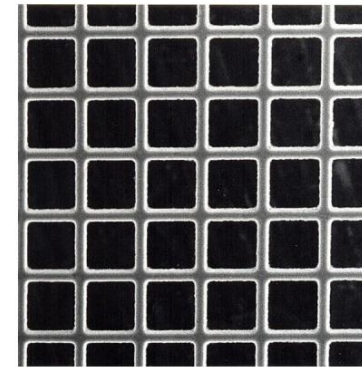


Modèle géométrique de l'acquisition

- D'où vient l'intensité du pixel (k,l) ?
- Modèle fondateur en vision : sténopé
 - Projection centrale
 - Notion de grandissement



- Un modèle utile mais faux
 - En vision comme en MEB !
- Calibration/autocalibration
 - Mires géométriques
 - exploiter plusieurs images de la même scène
 - Exploiter des informations a priori sur la géométrie de la scène

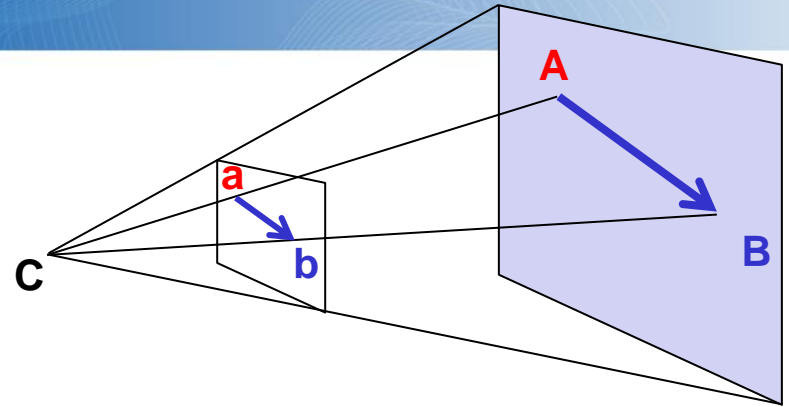


<http://www.agarscientific.com/1000-mesh-grid.html>

Mesures géométriques : principe

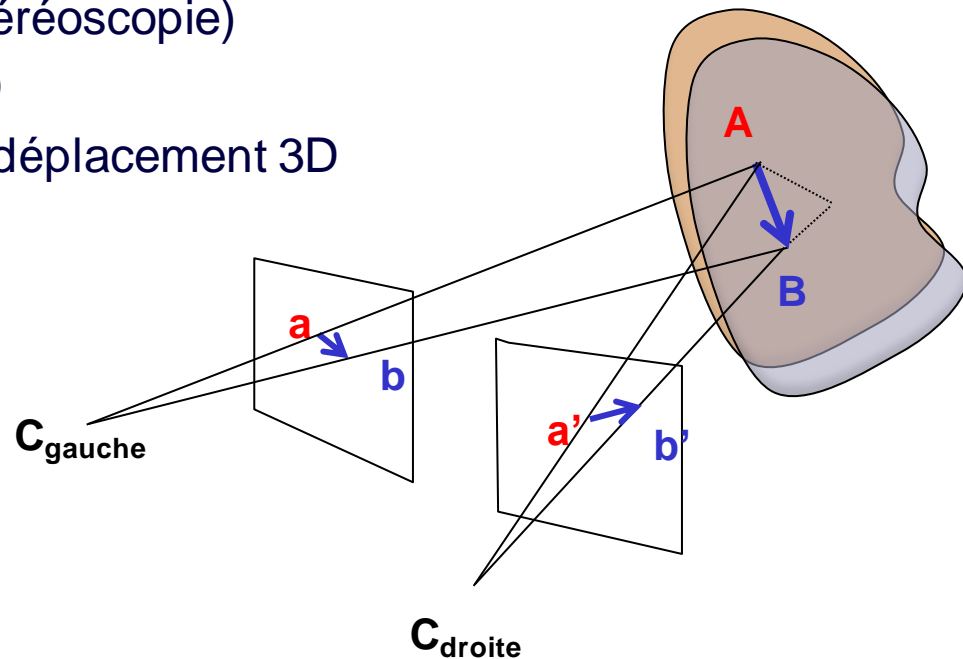
- Mesures planes

- Point de vue unique
- 1 acquisition : distance
- 2 acquisitions : déplacement



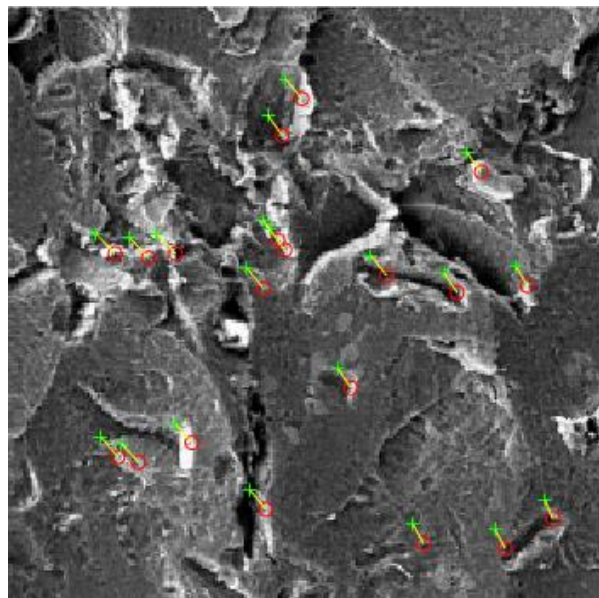
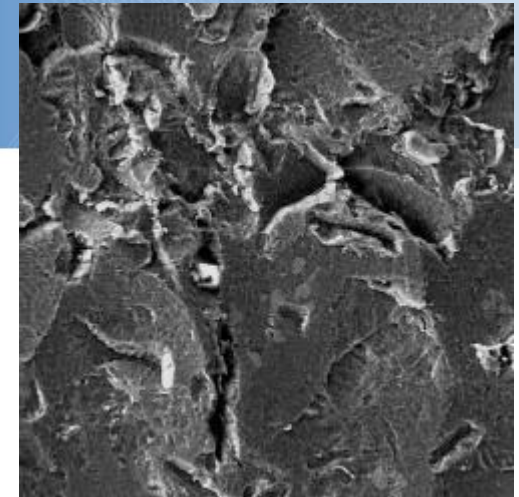
- Mesures 3D

- Plusieurs points de vue (stéréoscopie)
- 1 acquisition (multiple) : 3D
- 2 acquisitions (multiples) : déplacement 3D

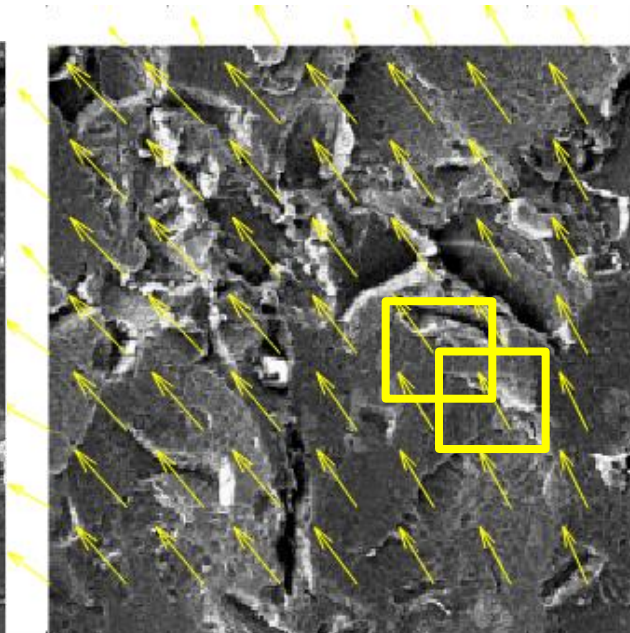


Notion centrale : l'appariement

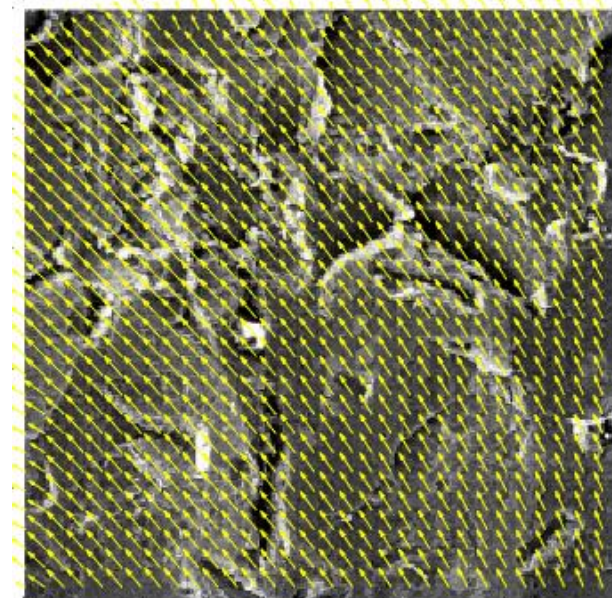
- Associer deux zones homologues dans deux images
 - Homologue = image du même point 3D
- Modalités



Primitives



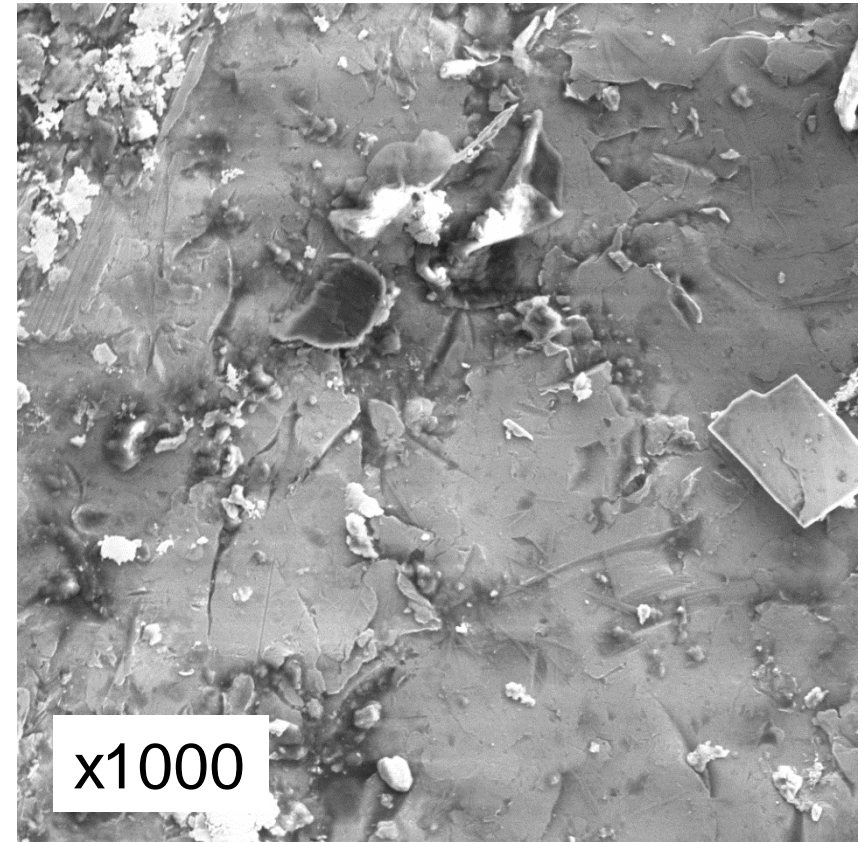
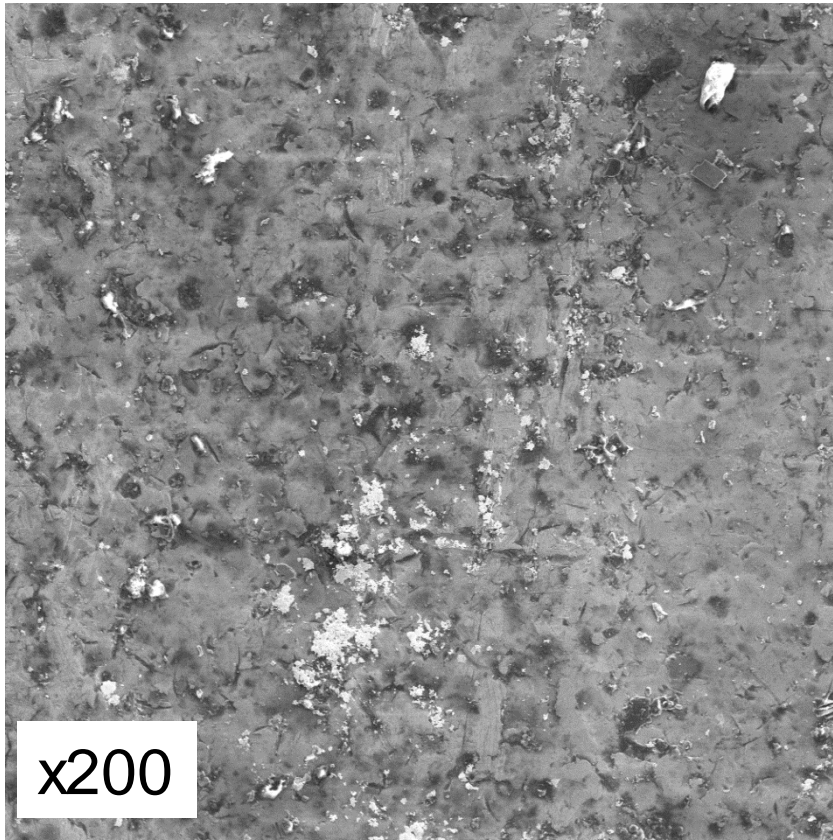
Sous-grille



Dense

Appariement multi-échelle

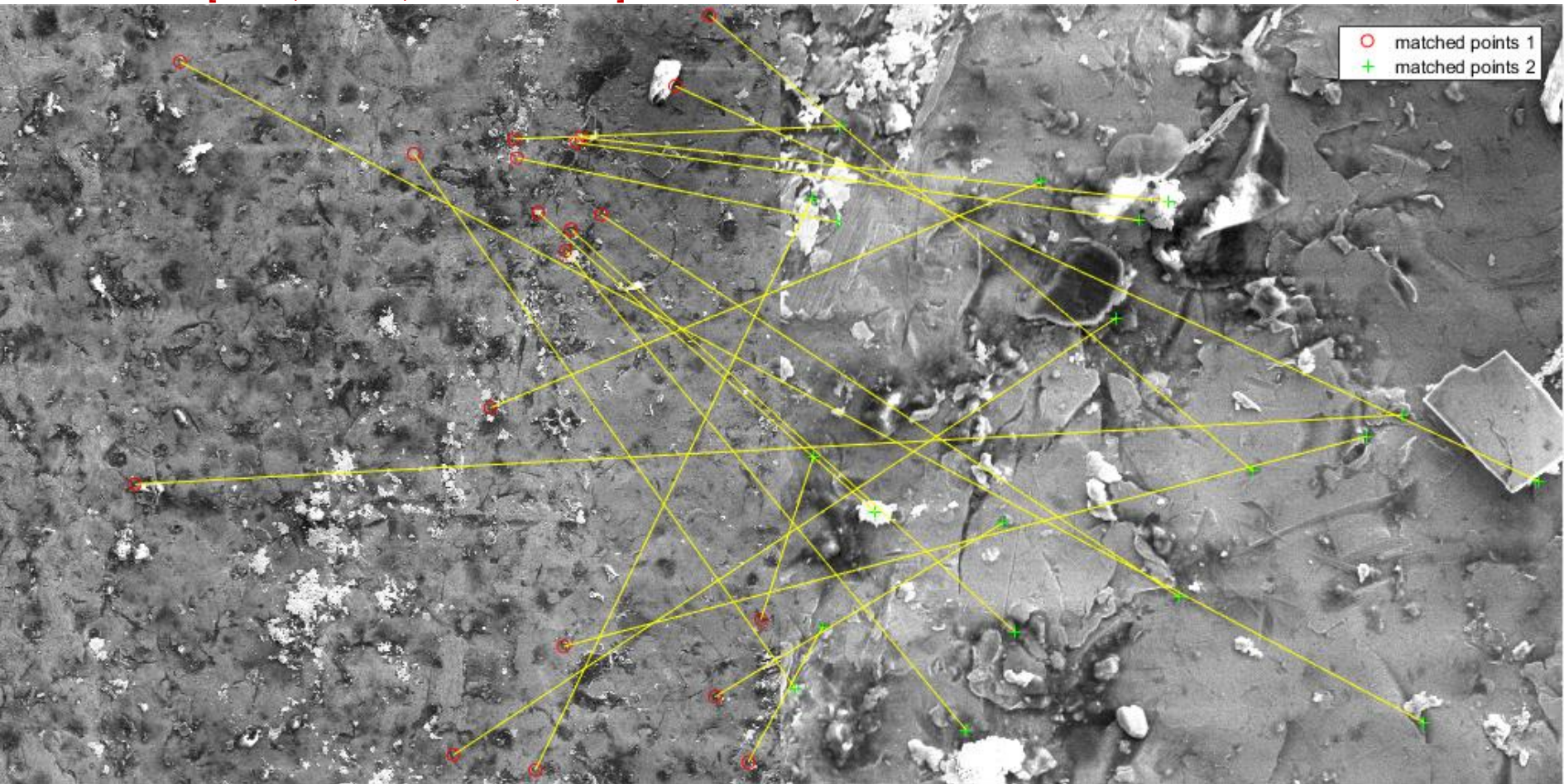
- Comment apparier ces deux images ?



Images ONERA (D. Boivin, Y. Renollet)

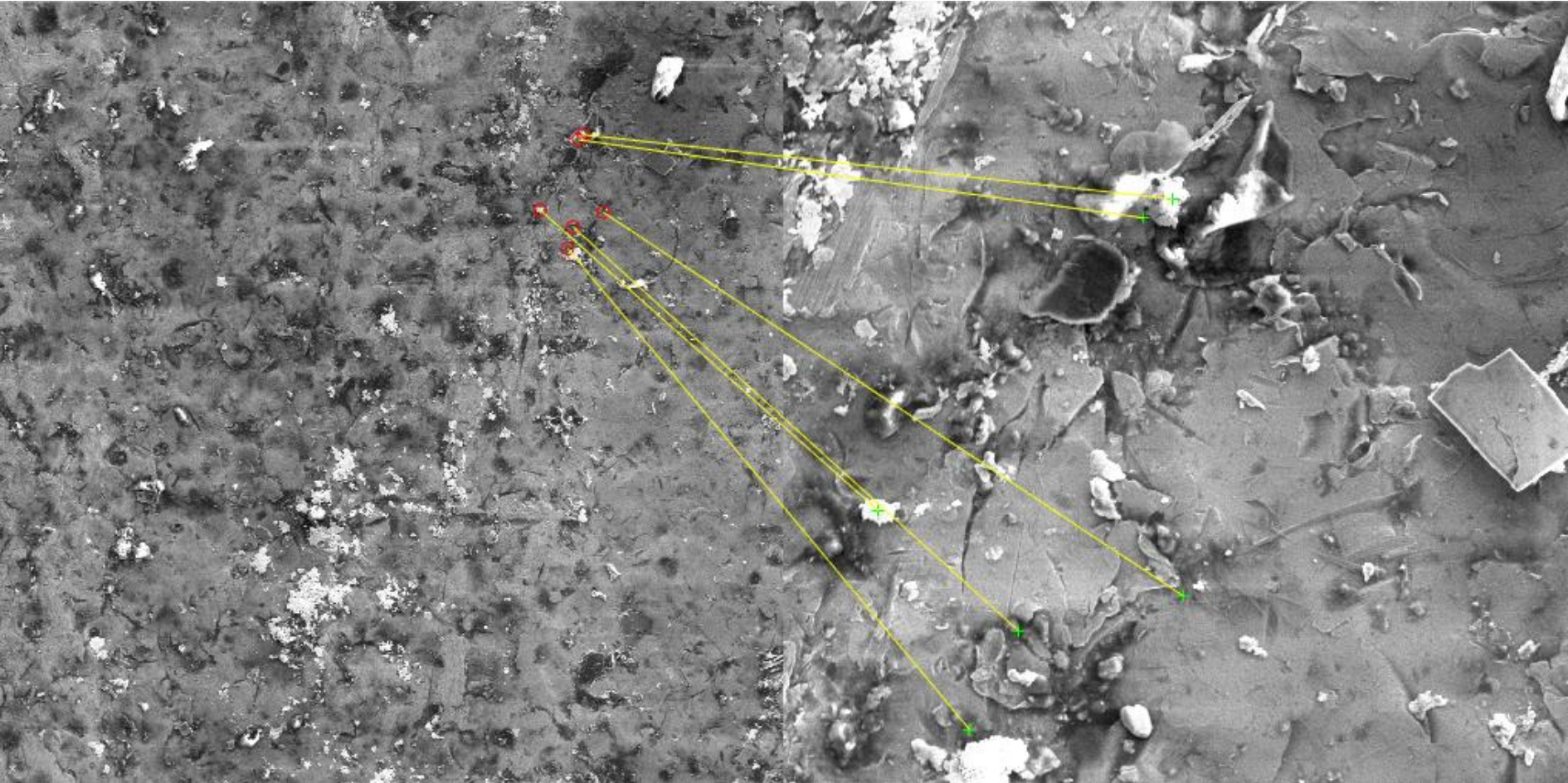
Appariement multi-échelle

- Primitives robustes à l'échelle et à la rotation
[SIFT, 2004 ; SURF, 2008]

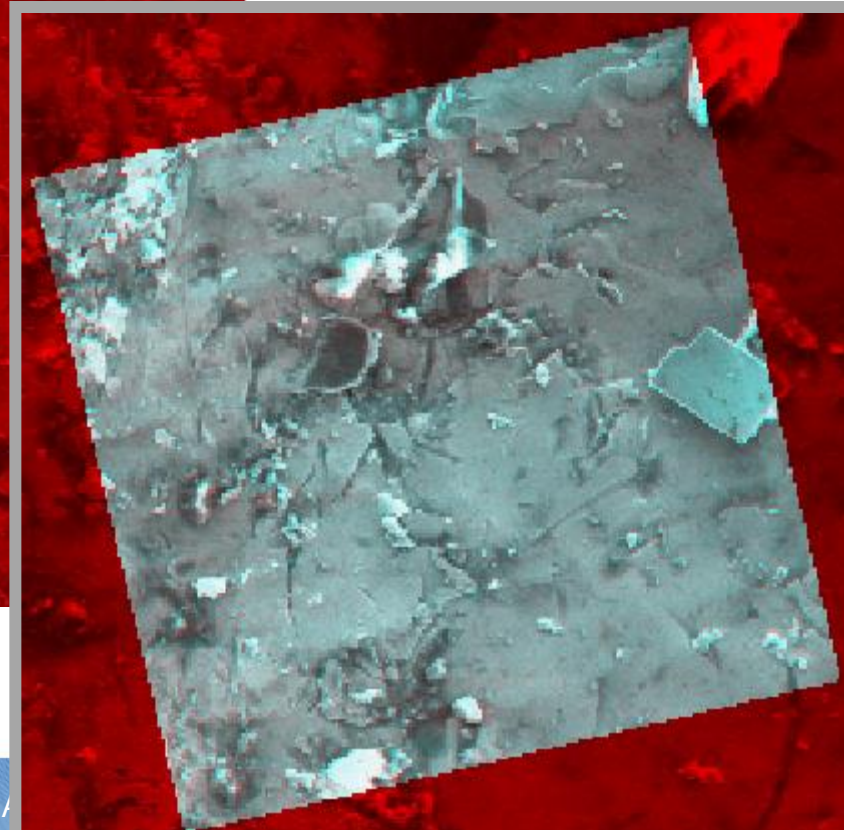
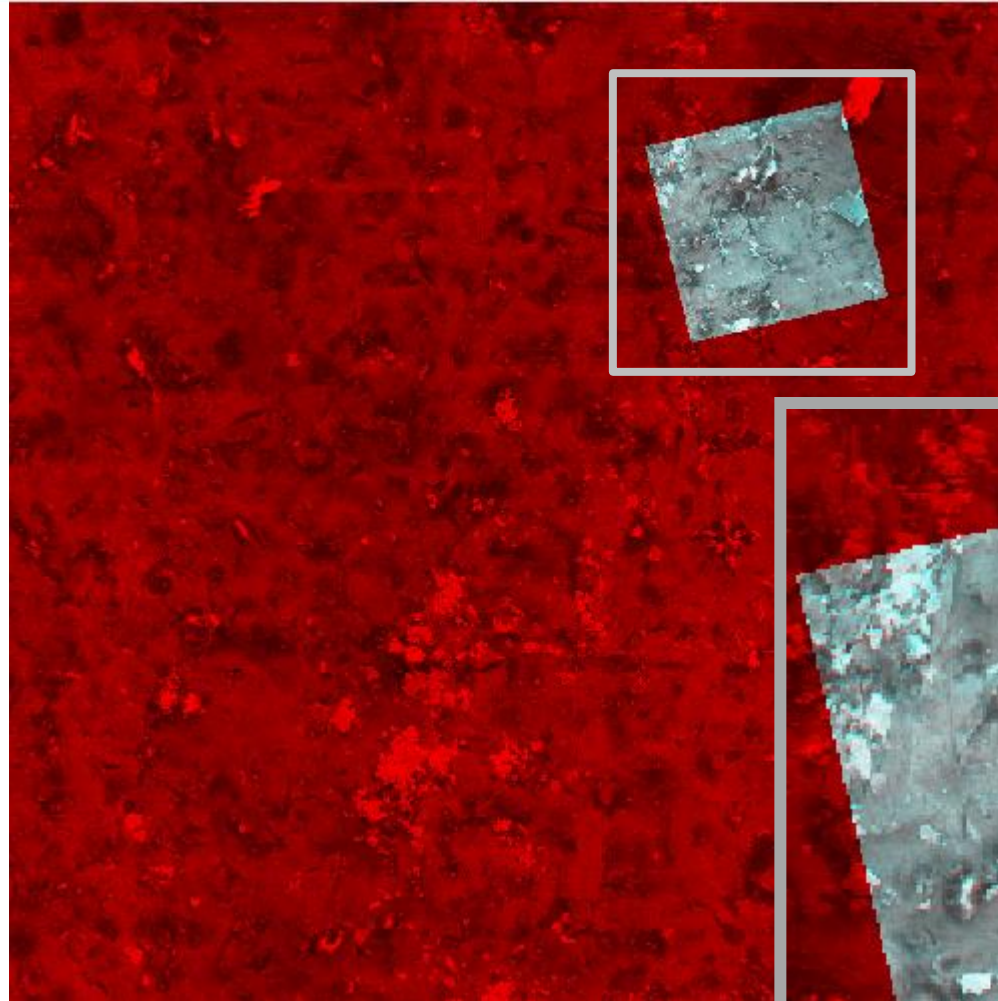


Appariement multi-échelle

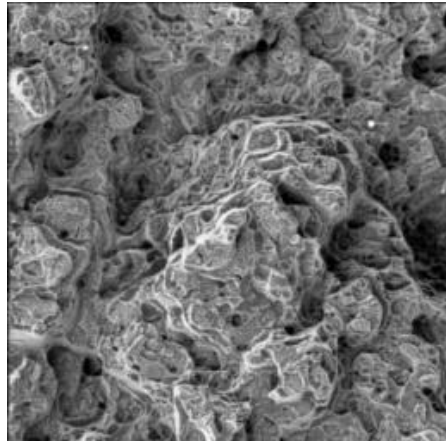
- Rejet sur hypothèse de similarité



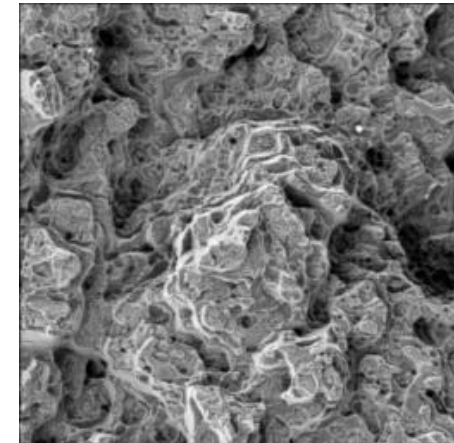
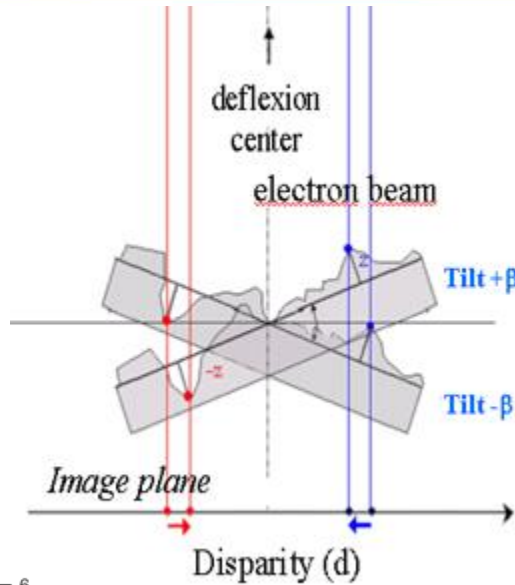
Recalage multi-échelle



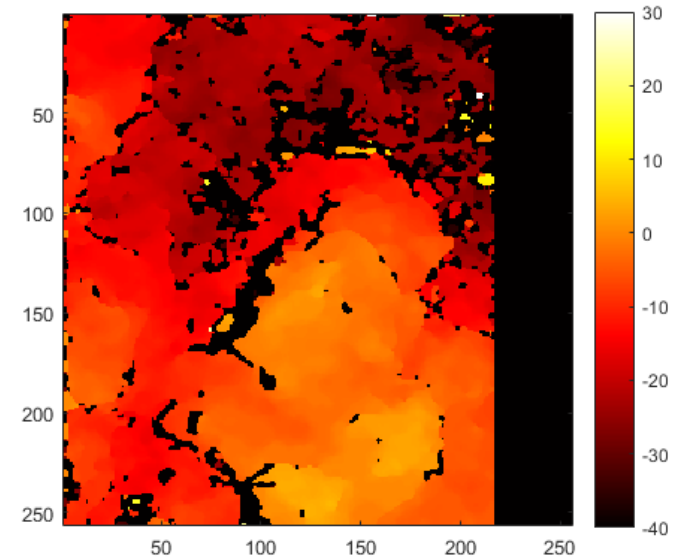
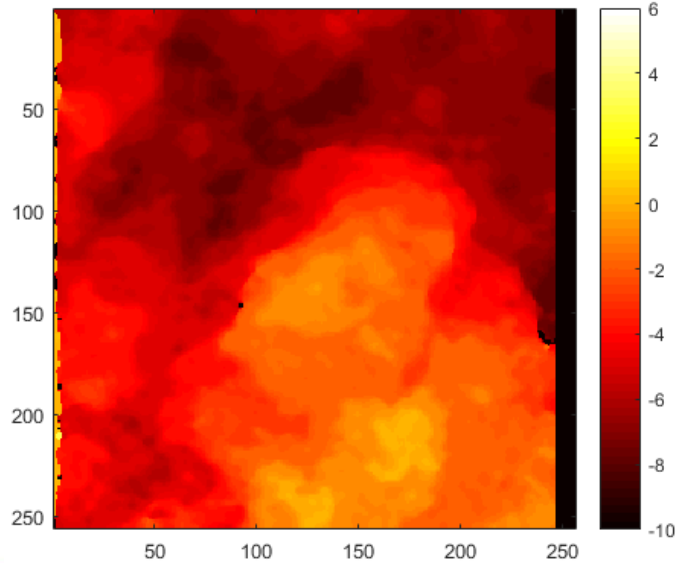
Reconstruction 3D par stéréovision



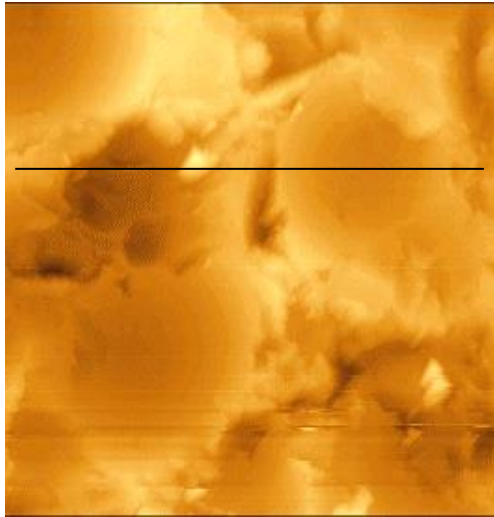
Angle de tilt faible



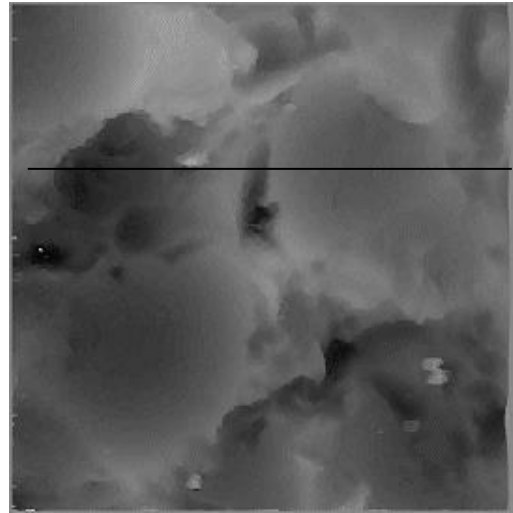
Angle de tilt élevé



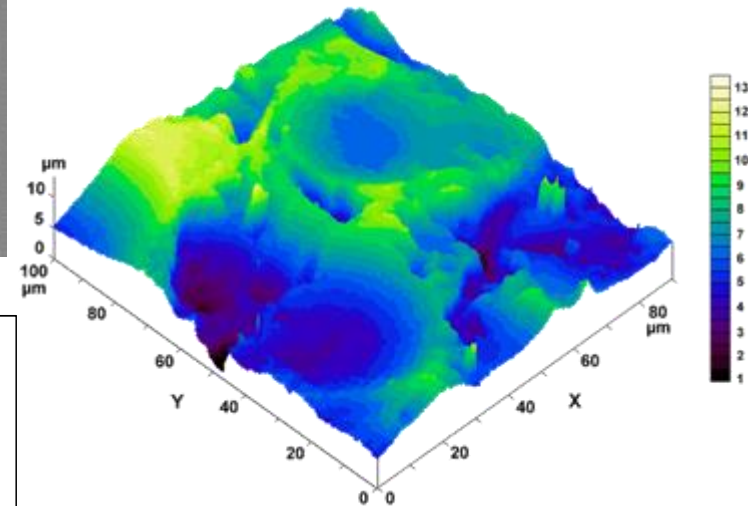
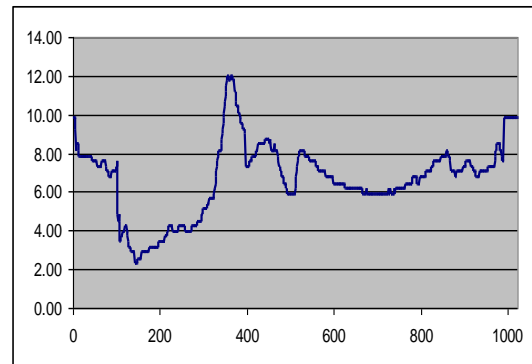
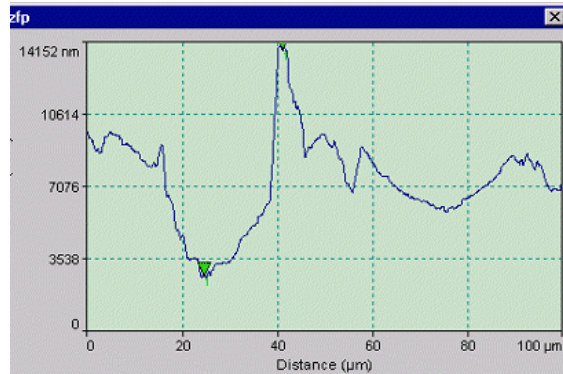
Reconstruction 3D par stéréovision



Elévation AFM

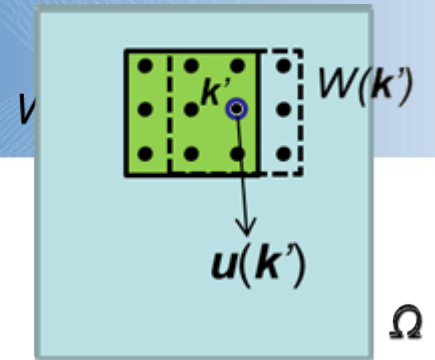


3D stéréo MEB

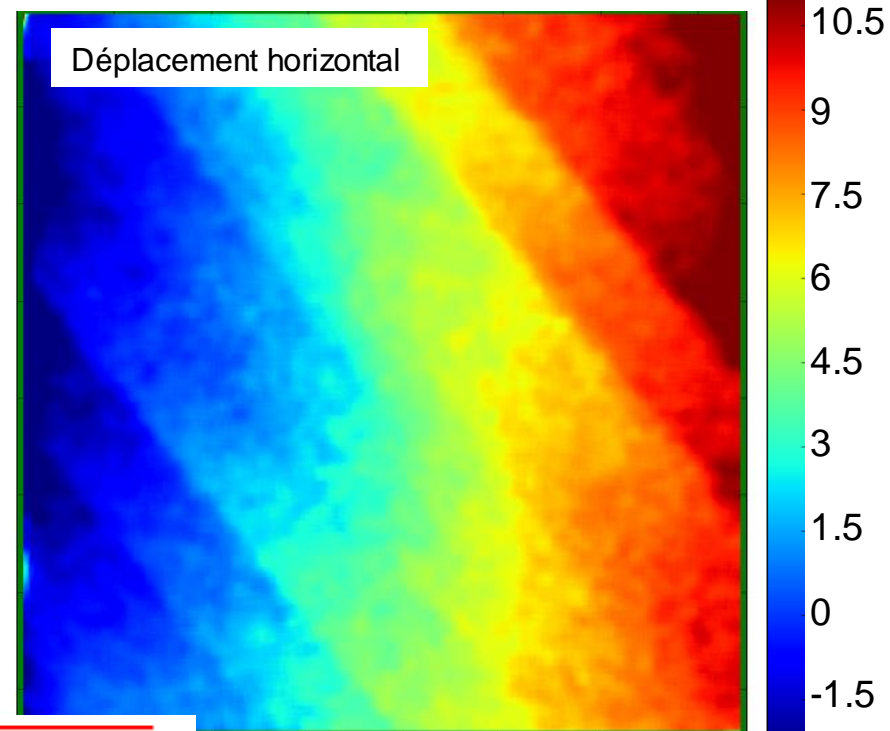
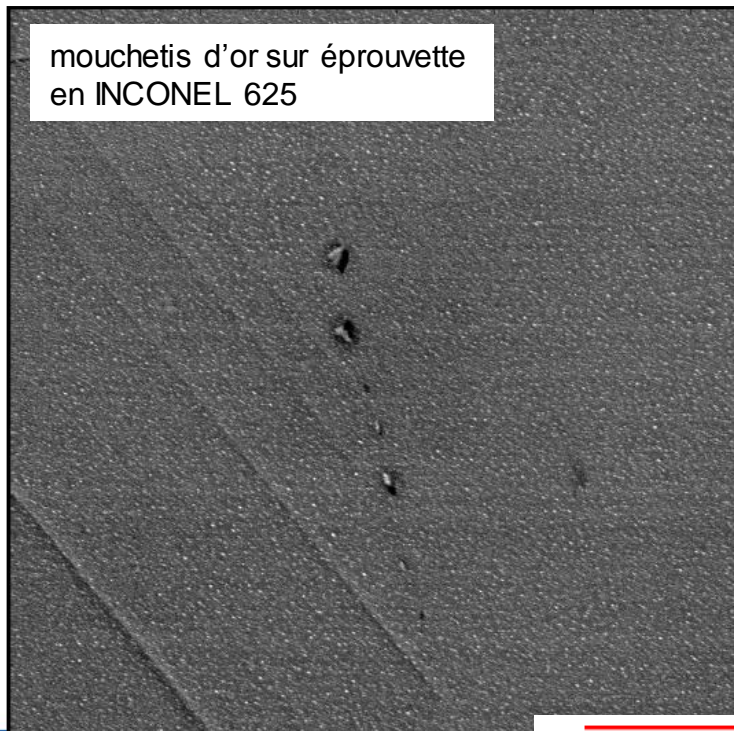


J.L.Pouchou, D. Boivin, P. Beauchêne, G. Le Besnerais, F. Vignon, Mikrochim. Acta, 139,135, (2002)

Déplacement et déformation dense

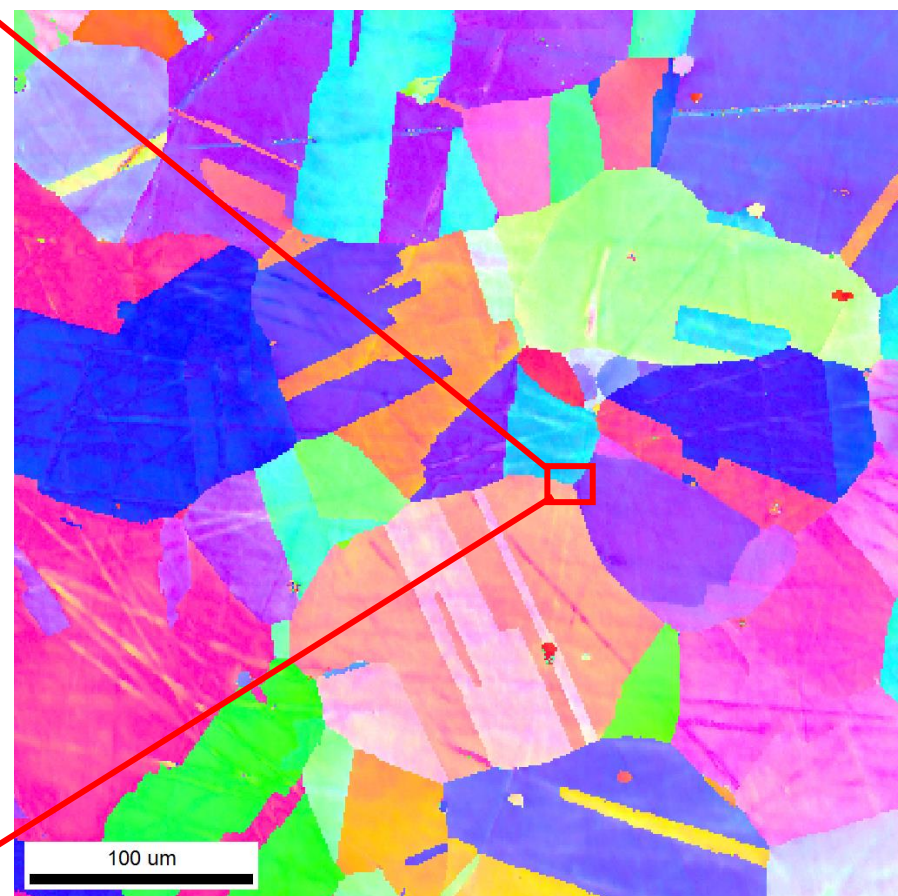
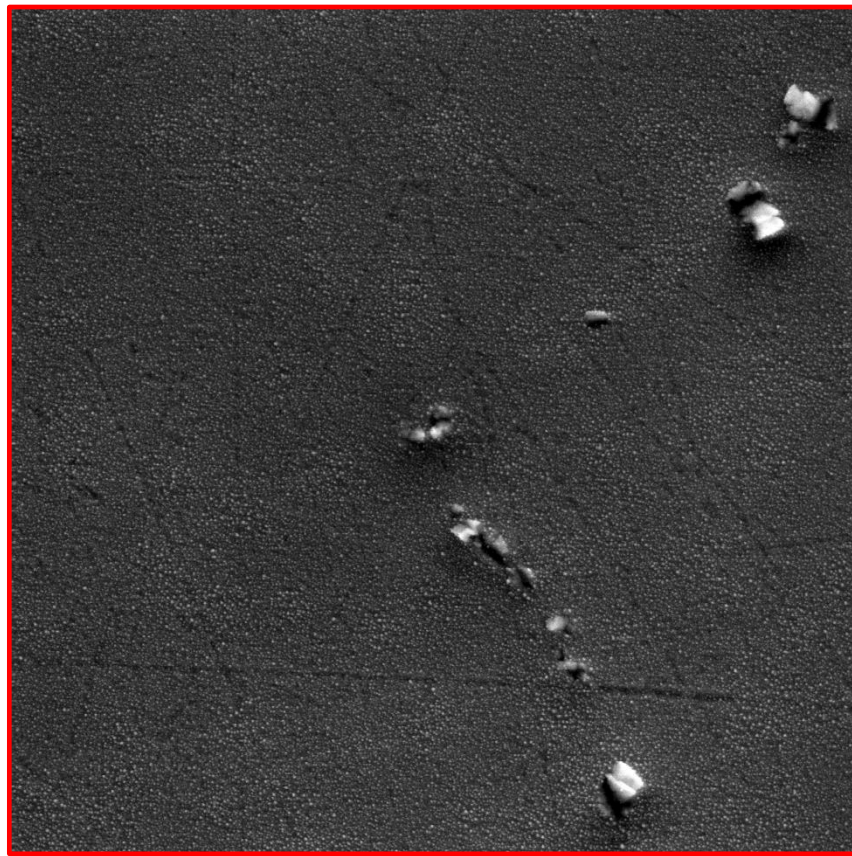


- FOLKI-D : un algorithme rapide de stéréo-corrélation dense
[LeBesnerais et al. Strain, 015]
 - Recalage d'images 4K < 0.2sec sur GPU
- Application à la MEB, R. Mahouas et al, ONERA 2017
 - Etude de mouchetis adaptés à la MEB



Déformation dense

Mouchetis d'or sur éprouvette en INCONEL 625



2 μm

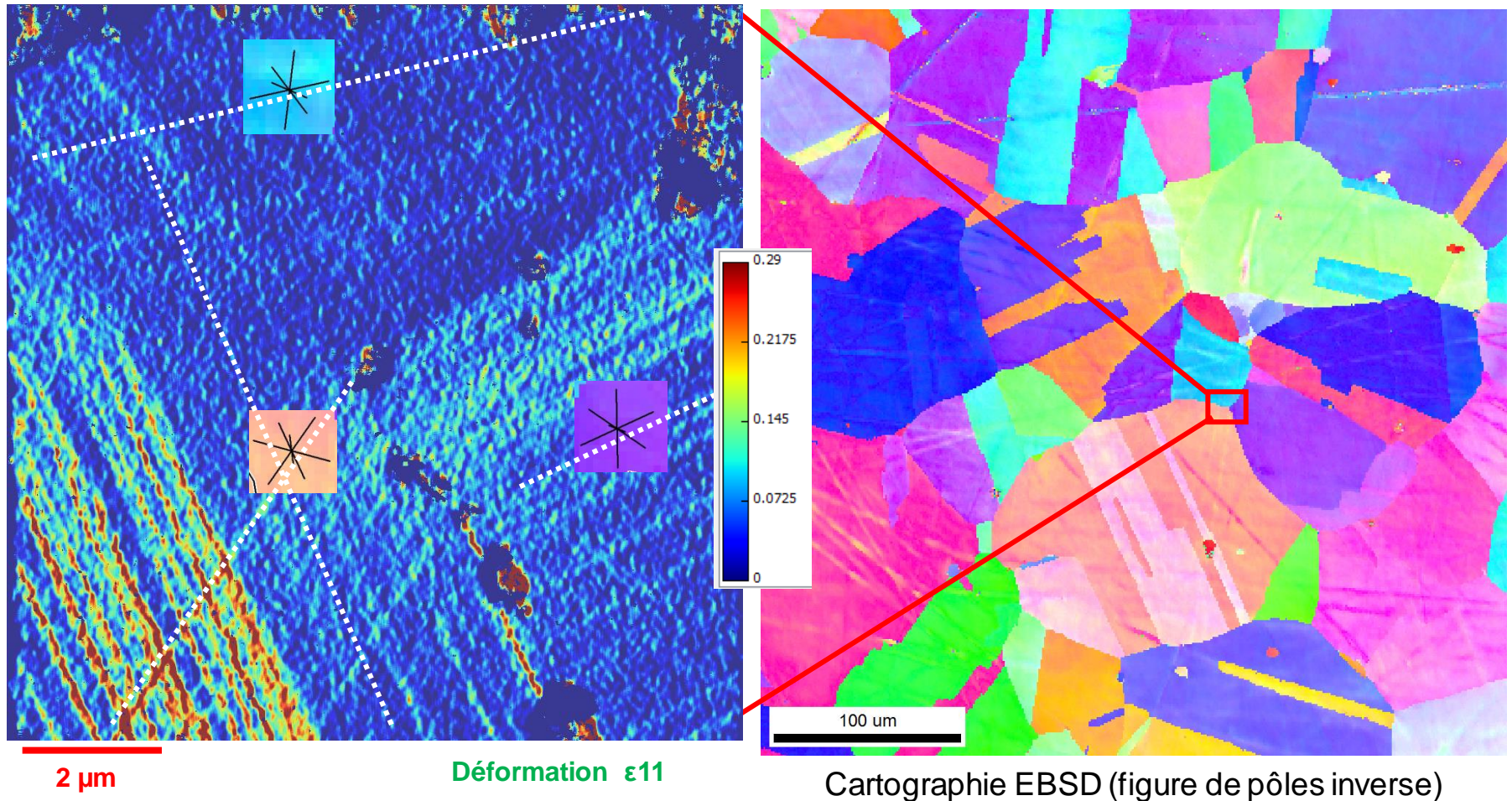
Image MEB d'un champ de 10 μm x 10 μm

Cartographie EBSD (figure de pôles inverse)

R. Mahouas et al, ONERA 2017

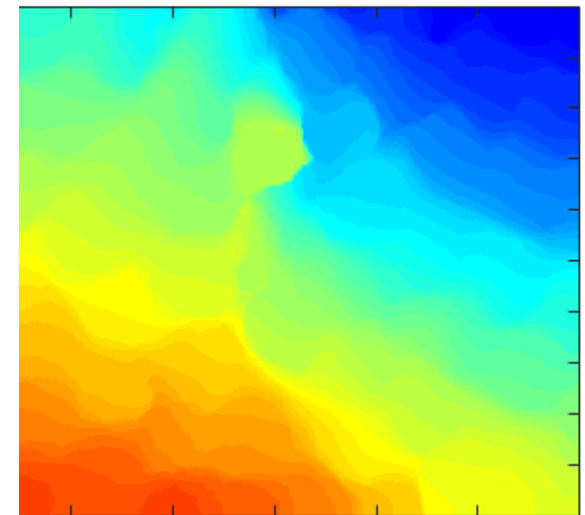
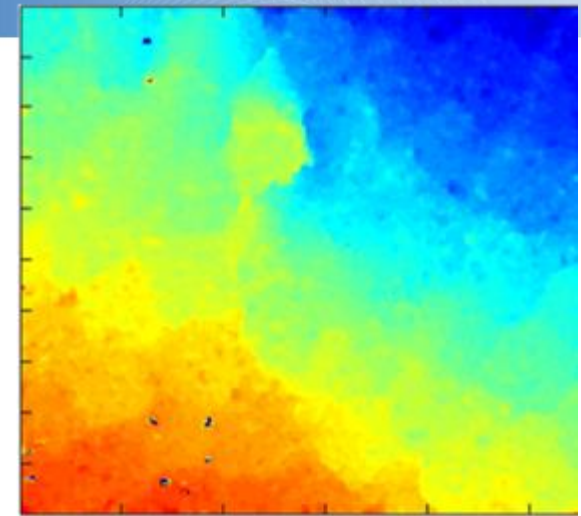
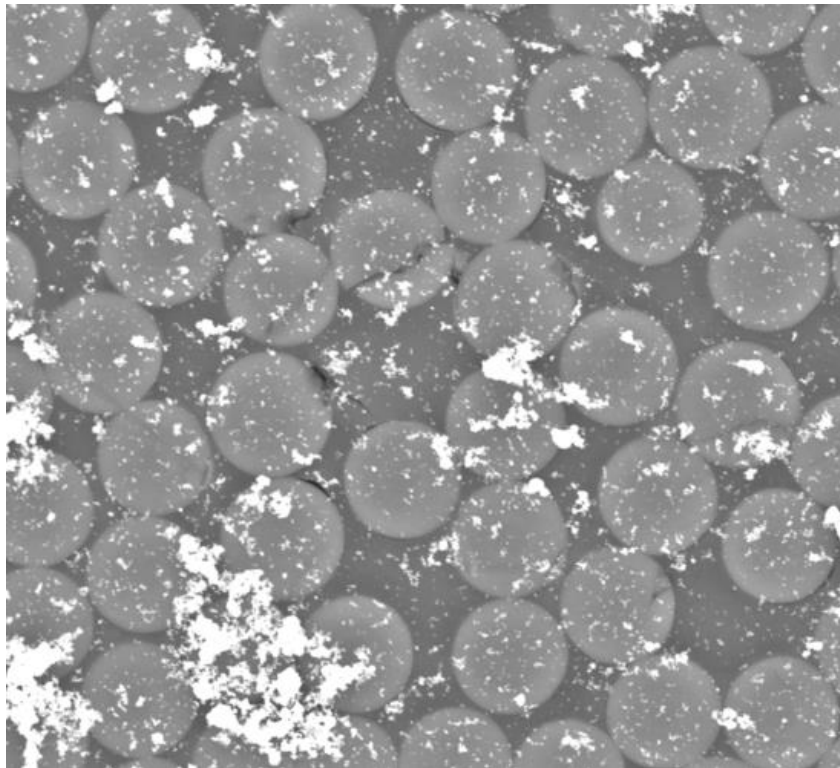
Déformation dense

Mouchetis d'or sur éprouvette en INCONEL 625



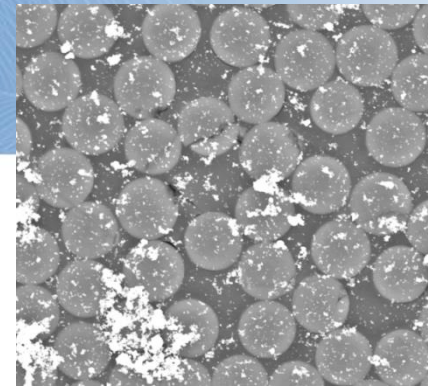
R. Mahouas et al, ONERA 2017

- Estimation d'un champ de mvt dense
 - Recherches en vision depuis 30ans
 - Des algorithmes récents très performants



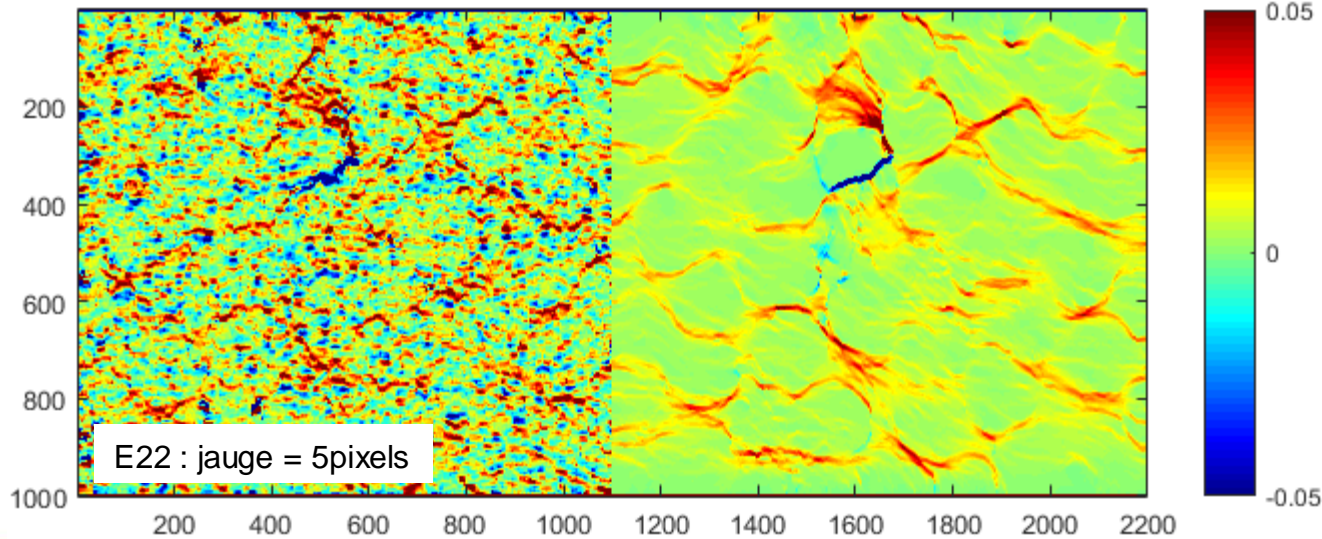
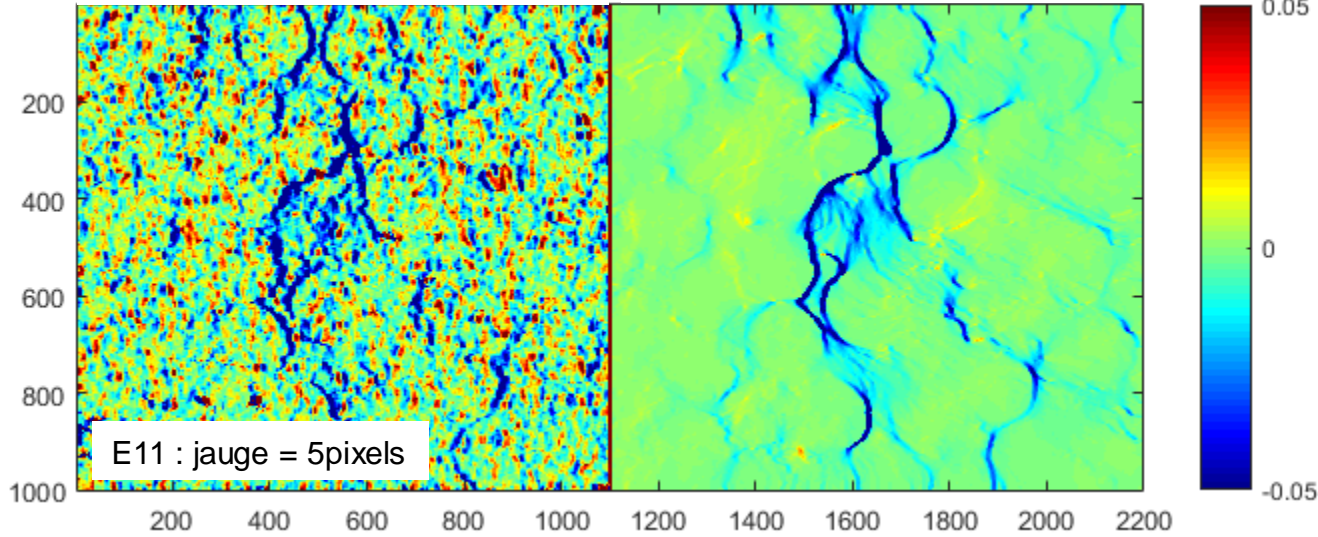
DeepFlow [Weinzaepfel et al, 2013]

Flot optique et déformation dense



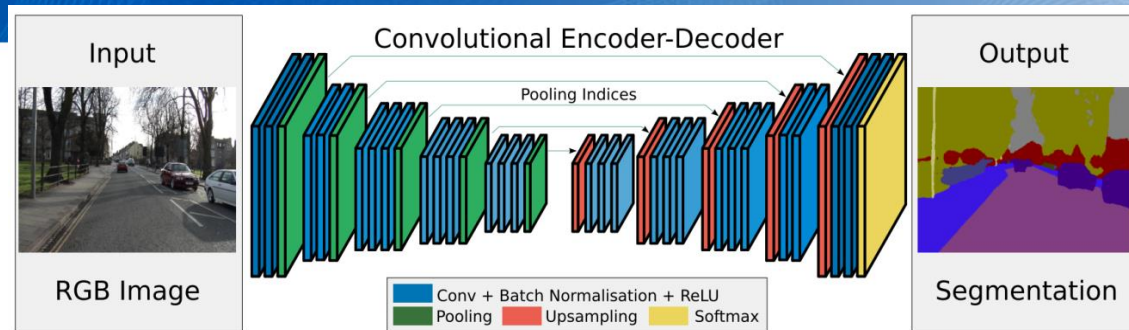
FOLKI-D [LeBesnerais et al. 2015]

DeepFlow [Weinzaepfel et al, 2007]



- Introduction : quel usage pour les images ?
- Vision et applications
- Qualité image
- Vision géométrique
- Perspectives

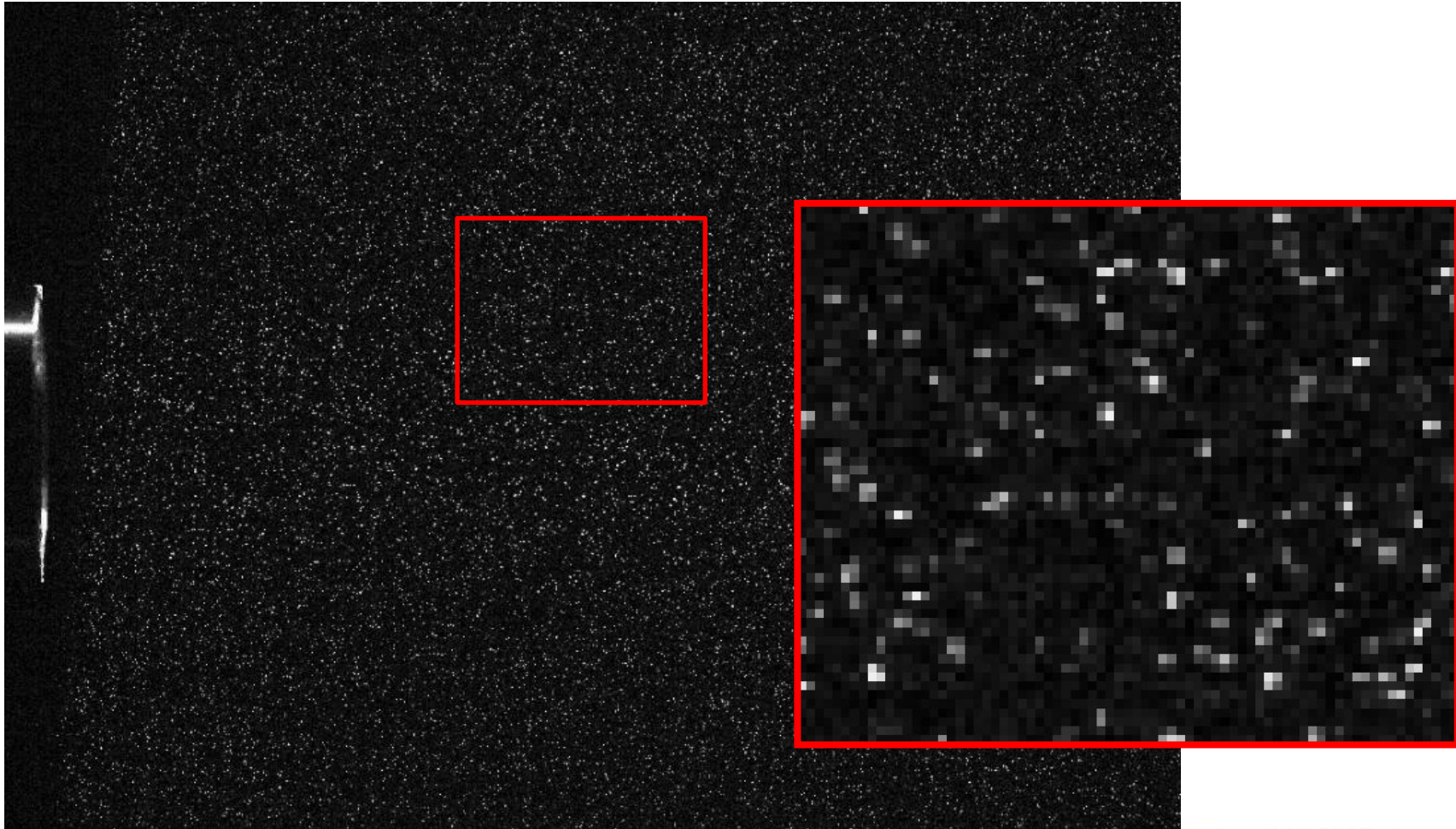
Une (r)évolution en vision par ordinateur



- « Apprentissage profond » (deep learning)
 - réseaux de neurones à grand nombre de couches et structure régulière
 - En particulier, réseaux convolutionnels
 - Apprennent à réaliser des fonctions variées sur des données massives
 - Rendu possible par internet et les GPUs
 - Apprentissage supervisé surtout
- 2014 : Un coup de tonnerre dans la reconnaissance de forme
 - Depuis, ces techniques s'imposent partout en image...
 - ...et se répandent partout : commentaire automatique, traduction automatique, dialogue par des robots, etc
- Déjà en PIV, bientôt en mécanique et imagerie MEB...

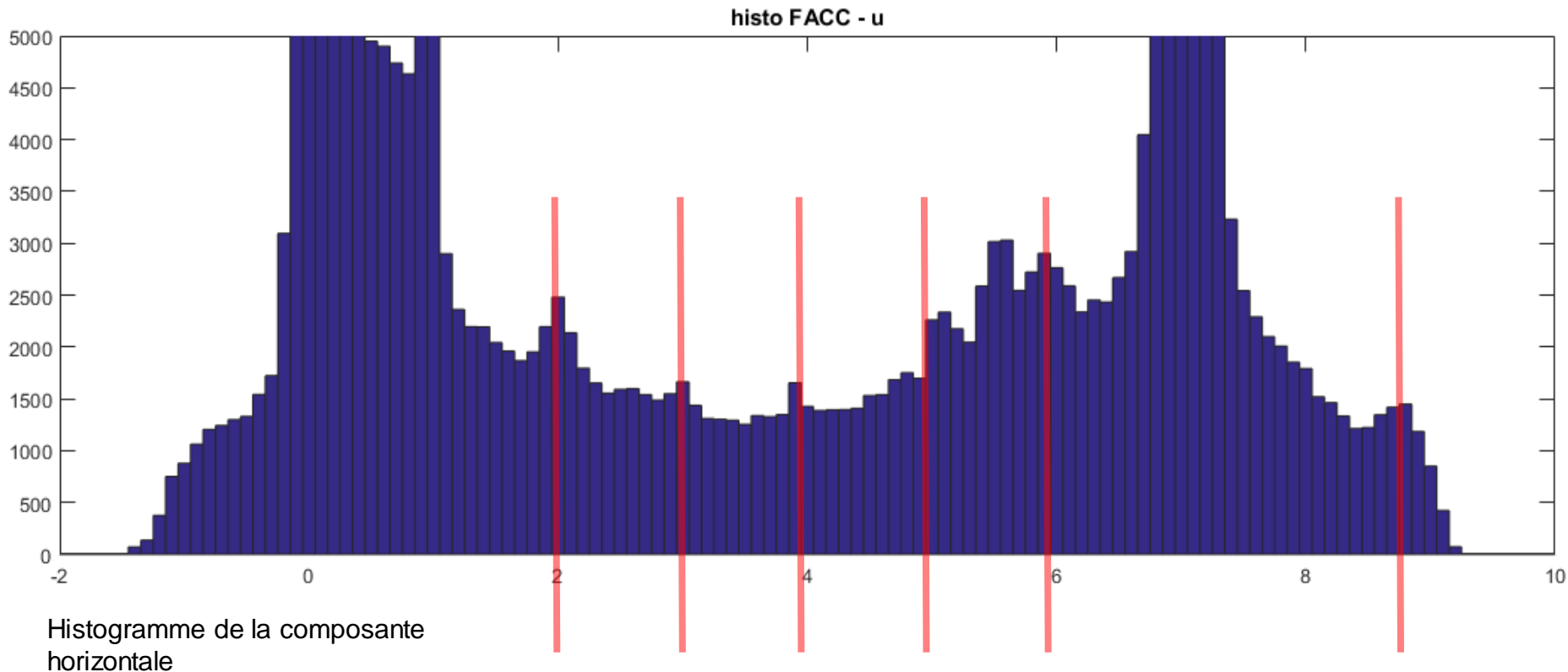
Echantillonnage et recalage

- Une séquence de PIV
 - Très sous-échantillonnée



Echantillonnage et recalage

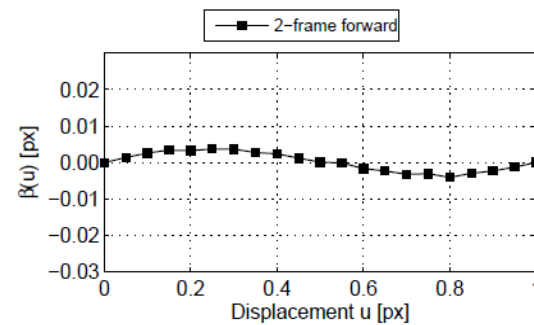
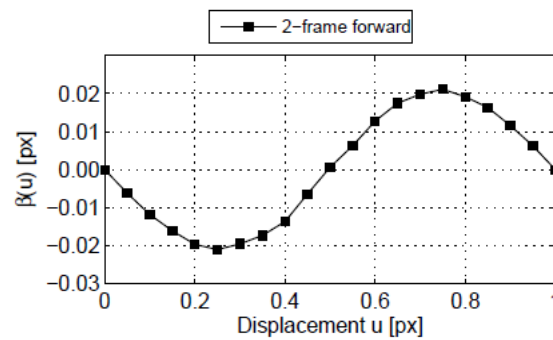
- Effet du sous-échantillonnage
 - Des pics sur l'histogramme aux valeurs entières (*peak-locking*)
 - Ces pics sont des artefacts dus à des erreurs d'interpolation



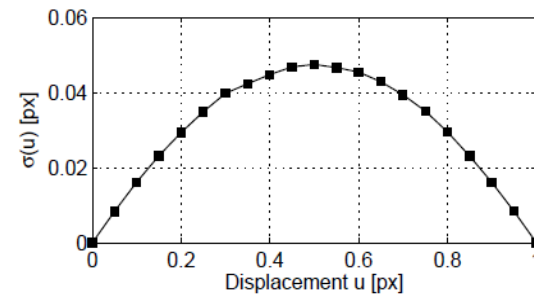
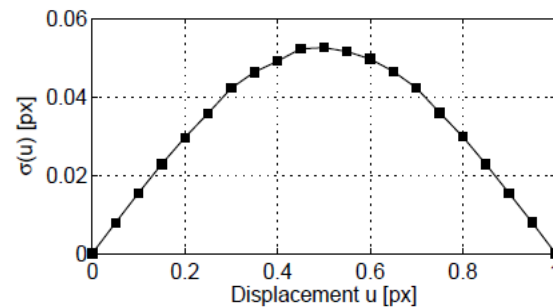
Echantillonnage et recalage

- L'erreur de recalage dépend de l'interpolateur utilisé
 - Exemple d'erreur de recalage sur un cas de synthèse

Erreur moyenne
(biais)



Ecart-type
d'erreur



Interpolation FFT

Interpolation Spline

[Yegavian, R., Leclaire, B., & Champagnat, F. Lucas-Kanade Fluid Trajectories for time-resolved PIV, in Conf. PIV 2015]