

V. Maxim, F. Peyrin, T. Grenier, I. Magnin

**CREATIS, CNRS 5220, INSERM U1044, INSA Lyon,
UCBL, Université de Lyon**

Eq. 4 Imagerie Tomographique et Radiothérapie

Eq. 2 Images et Modèles

Eq. 1 Imagerie cœur-vaisseaux-poumons

Equipe 4 - Domaine de recherche

■ Défis:

- Problèmes inverses en imagerie tomographique de diverses modalités
- Imagerie X 3D à l'échelle cellulaire
- Médecine personnalisée en radiothérapie (X ou ions)

■ Recherche multidisciplinaire, proche de plateaux techniques et de grands instruments



Thématiques dans l'équipe

- 3 axes

Axe 1 : Reconstruction & Simulation
- Problèmes Inverses
- Reconstruction tomographique
- Simulation et calcul de dose

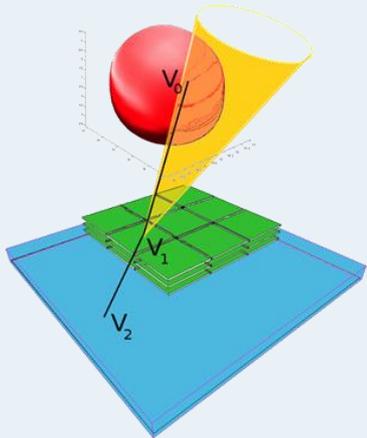


**Axe 2 : Imagerie 3D du
tissu osseux**

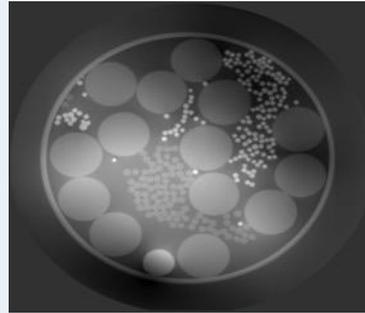


**Axe 3 : Radiothérapie
guidée par l'image**

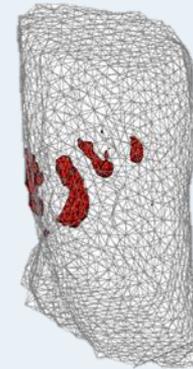
Axe 1 : Reconstruction et problèmes inverses



CT caméra Compton

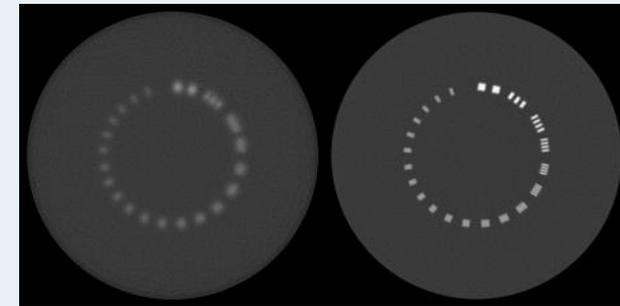


CT Phase par Rayons X

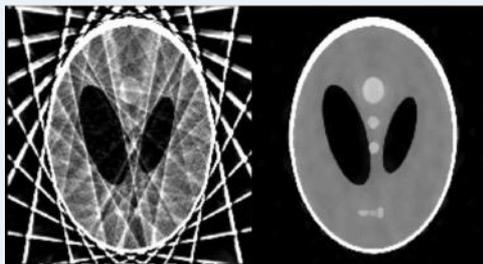


Tomographie optique de fluorescence

RECONSTRUCTION TOMOGRAPHIQUE



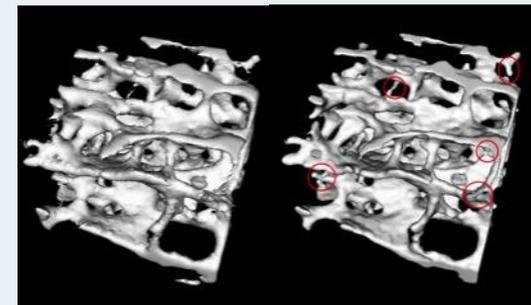
Proton CT



Faible nombre de vues et mouvement



Tomographie discrète



Super-résolution

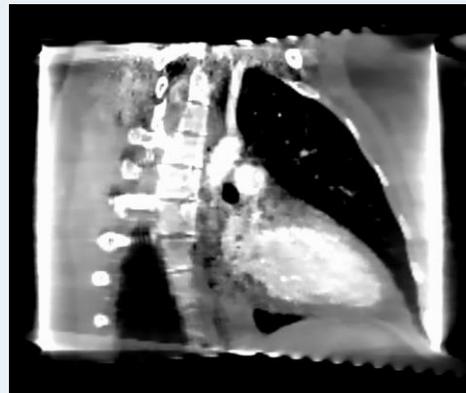
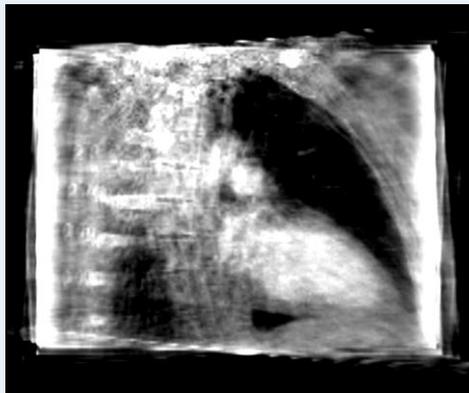
Tomographie – Cardiaque

■ Reconstruction à faible nombre de vues

- Problème récurrent en tomographie : mouvement, dose ...
- Régularisation par la norme L_1 , peu d'applications
- Imagerie cardiaque 3D en angiographie rotationnelle, coll Eq 1, Philips

$$J(f) = \|HRf - HP\|_2^2 + \alpha \|Wf\|_1$$

- Méthodes ADMM et nouvel algorithme «4D ROOSTER»

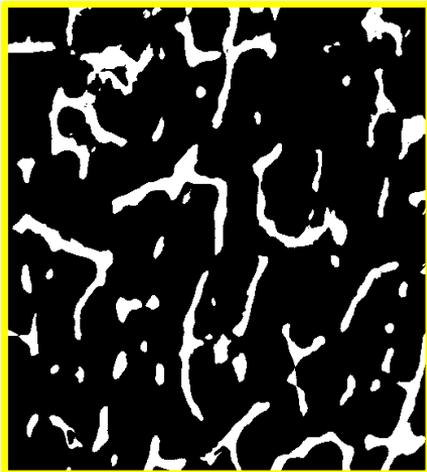


[Mory, Eusipco 2012]
[Mory, IEEE MIC 2012]
[Mory, JX-rayST, 2014]
[Mory, MedPhys 2014]

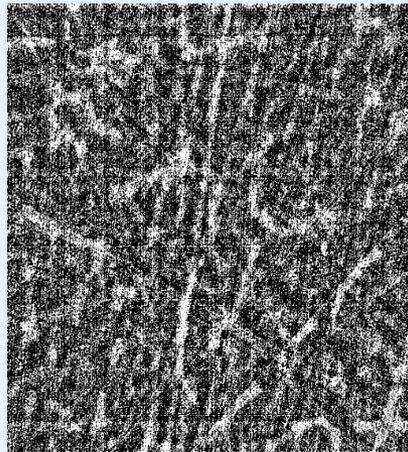
- Travaux en cours : adaptation au poumon avec prise en compte du mouvement, Coll IBA

Tomographie binaire 3D

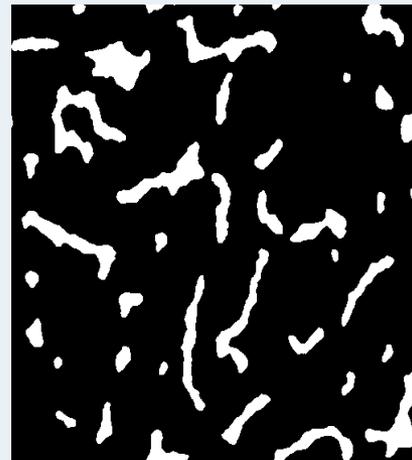
- Reconstruction d'un objet binaire à faible nombre de vues
- Développement de méthodes ad'hoc
- Méthode basée sur une régularisation TV + contrainte binaire
- **Example** : coupe micro CT d'os trabéculaire, reconstruction 20 projections, bruit



Original



FBP



TV

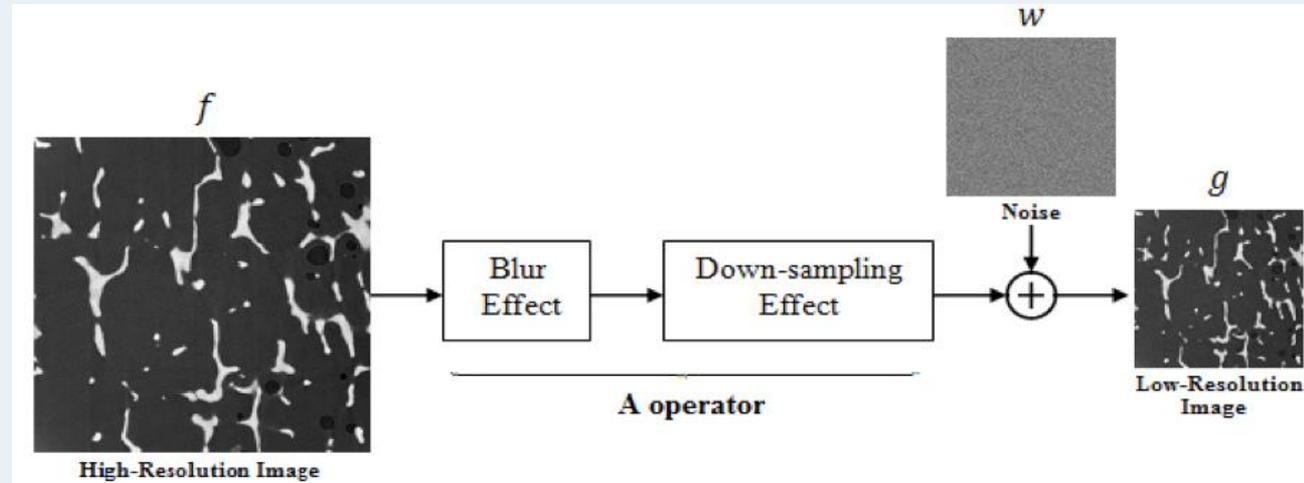


TV, Binary constraint

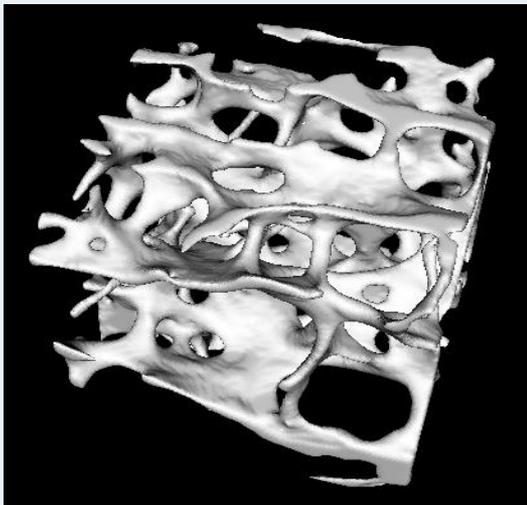
Méthode de super résolution

Inverse problem formulation

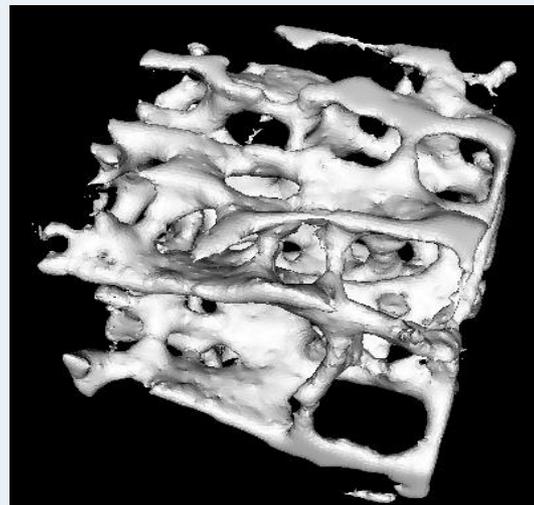
$$g = SAf + w$$



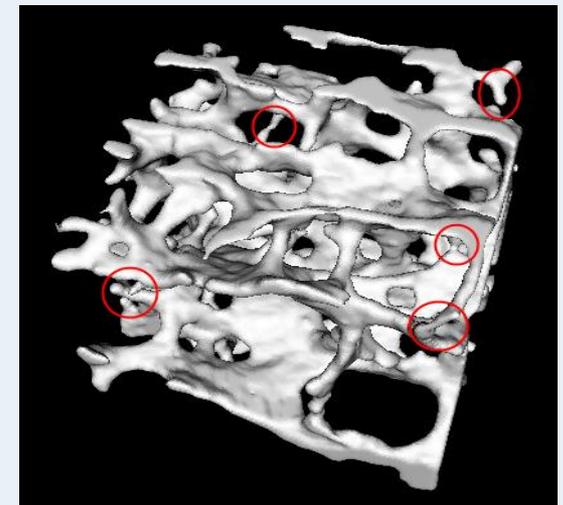
Resultats



Ground truth



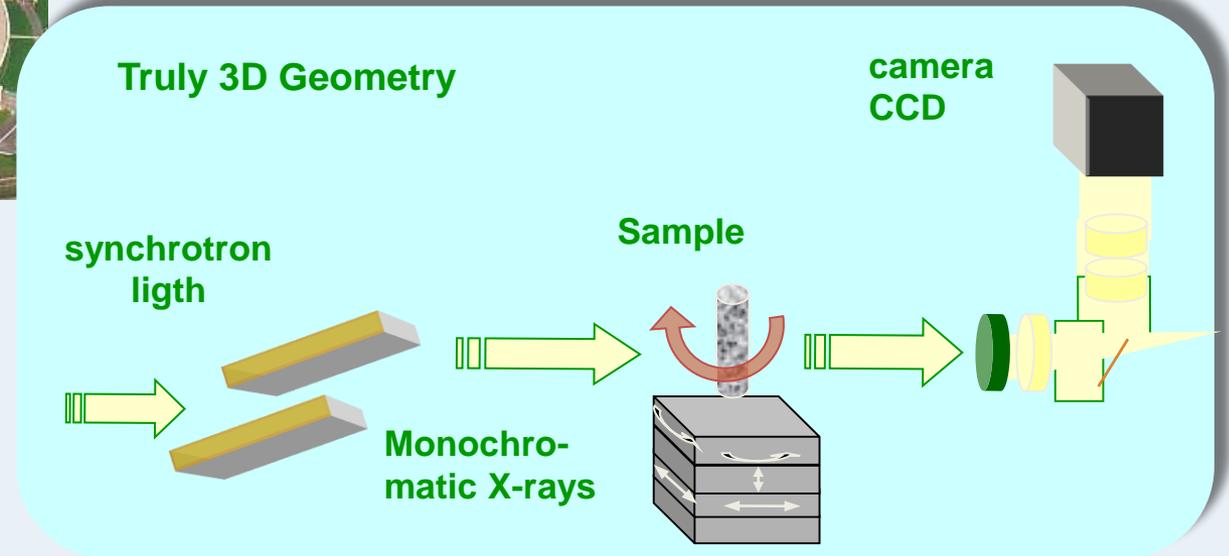
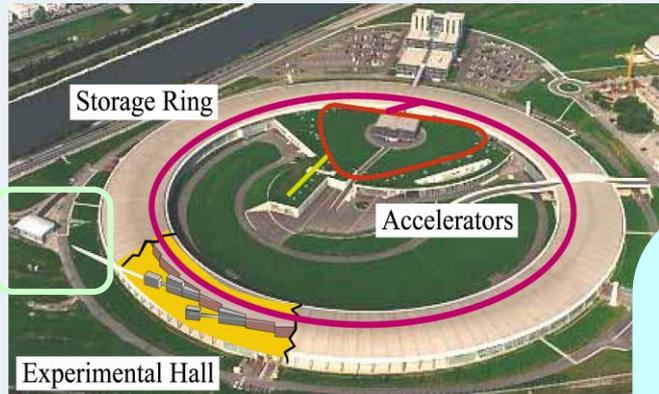
Degraded LR image



Method (TV Box)

Tomographie – Micro CT Synchrotron

- High resolution quantitative imaging SR μ CT

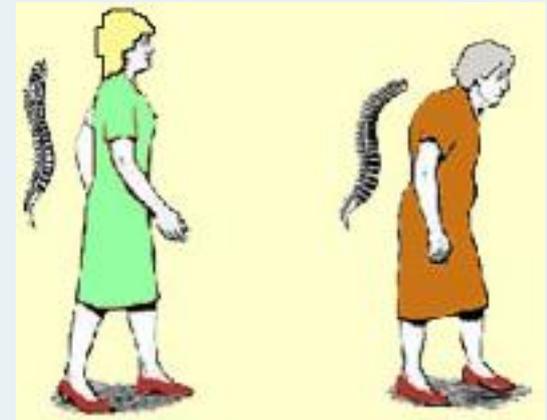


[Salomé, Peyrin, Med Phys 1999]
[Nuzzo, Peyrin, Med Phys 2002]

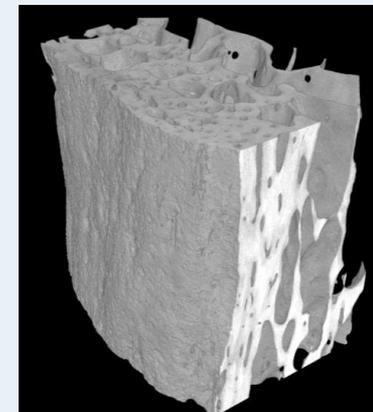
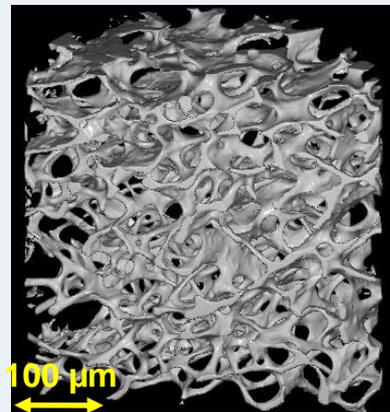
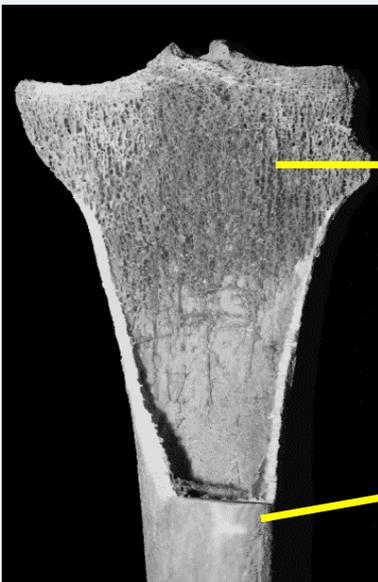
Tomographie – Micro CT Synchrotron

■ Application au tissu osseux

- Contexte : Ostéoporose
 - > Amélioration du diagnostic précoce
 - > Compréhension de la fragilité osseuse
 - > Stratégie de traitement ou de réparation



■ Imagerie de la micro architecture osseuse



[Nuzzo et al., Med Phys, 2002]

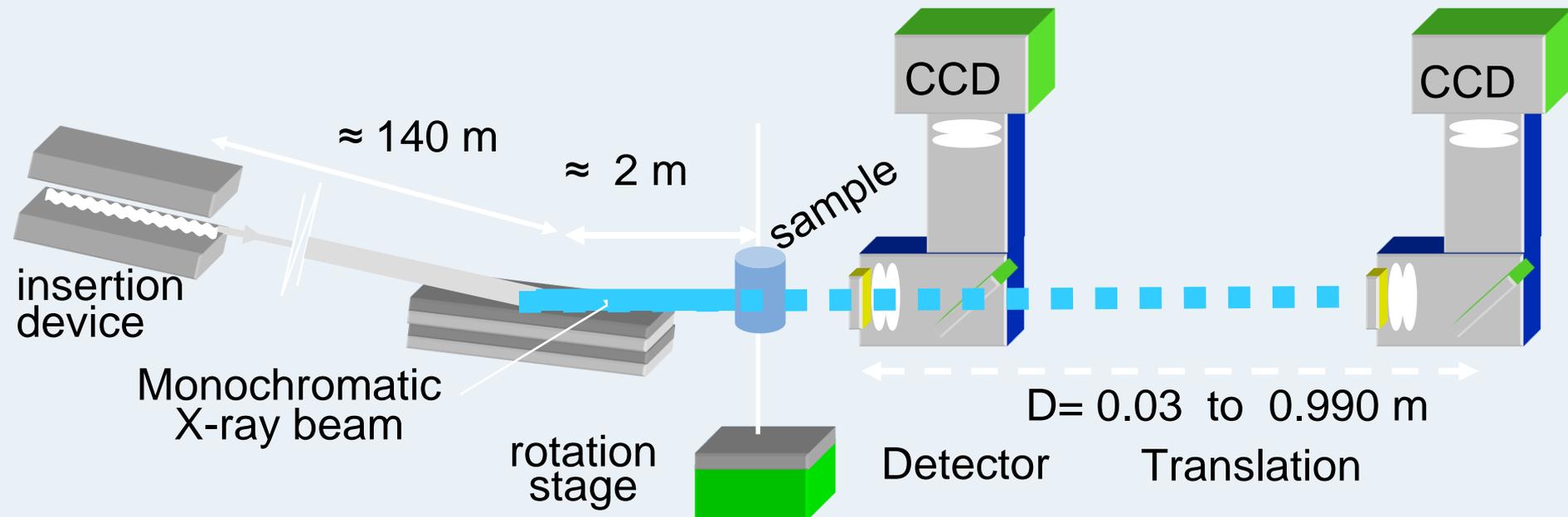
[Chappard et al., Med Phys, 2006]

[Peyrin et al., Med Phys, 2010]

Tomographie – Contraste de phase X

Imagerie de contraste de phase

Principe : Acquisition Set up – Beamline ID19, ESRF

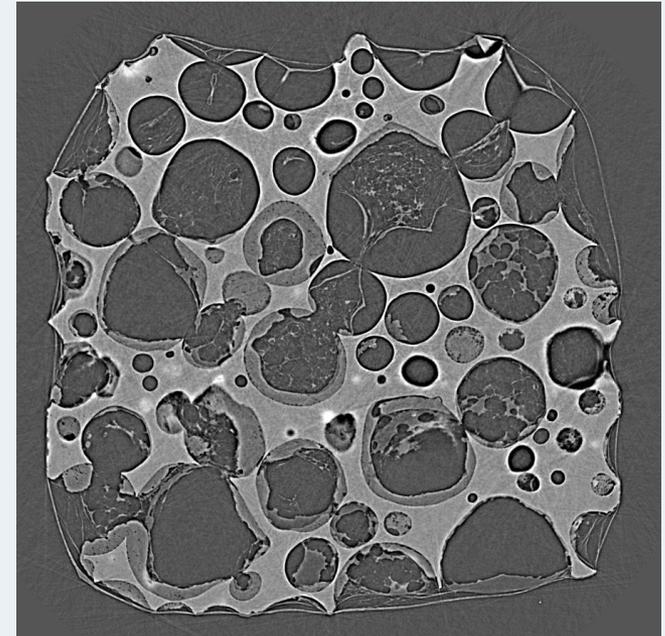
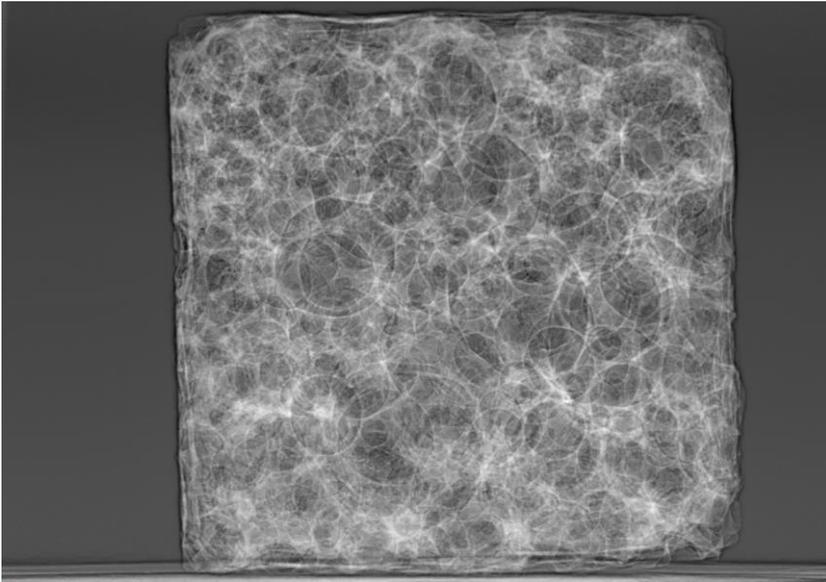


Echelle micro ou nano (jusqu'à 20 nm isotrope)

Tomographie – Contraste de phase X

- Imagerie de contraste de phase

Acquisition Set up – Beamline ID19, ESRF



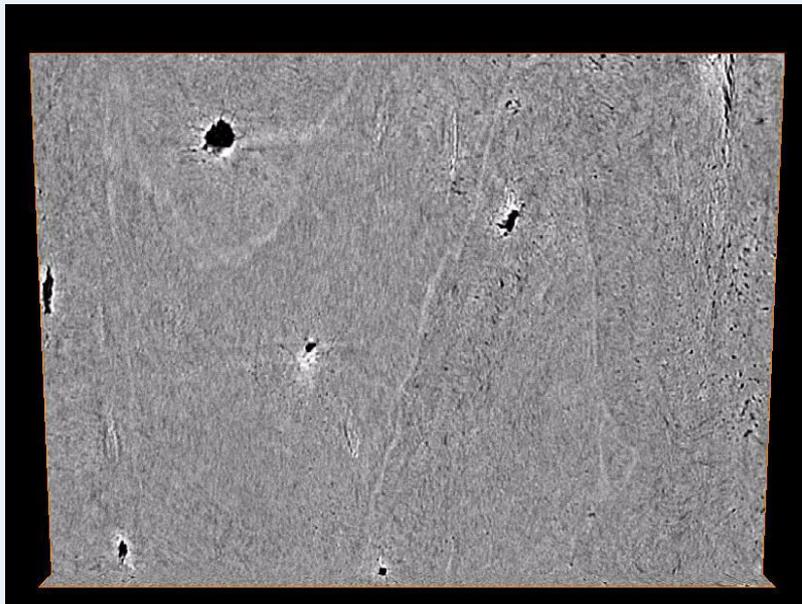
$E = 34 \text{ keV}$
 $D_0 = 33 \text{ mm (abs)}, D_1 = 221 \text{ mm}$
 $D_2 = 429 \text{ mm}, D_3 = 846 \text{ mm}$

Reconstructed slice :
Soft tissue (not visible in
absorption CT)

Tomographie – Nano CT Synchrotron

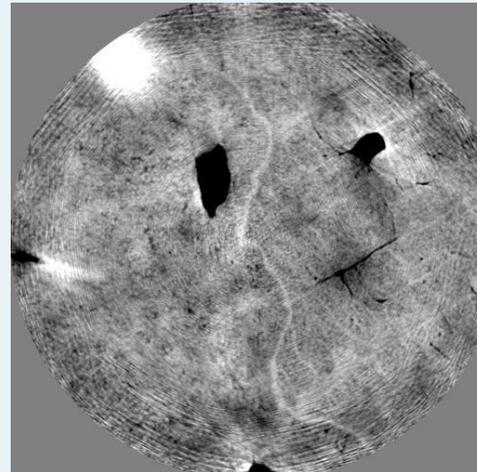
- Application : imagerie du tissu osseux à l'échelle cellulaire

Nano CT absorption
voxel : $0.3 \mu\text{m}$



Système lacuno-canaliculaire

Nano CT de phase
voxel : 60 nm



1 lacune et ses
canalicules

Image 3D : phase
map

[Langer et al., PlosOne
2012]



Tomographie de phase : problème inverse

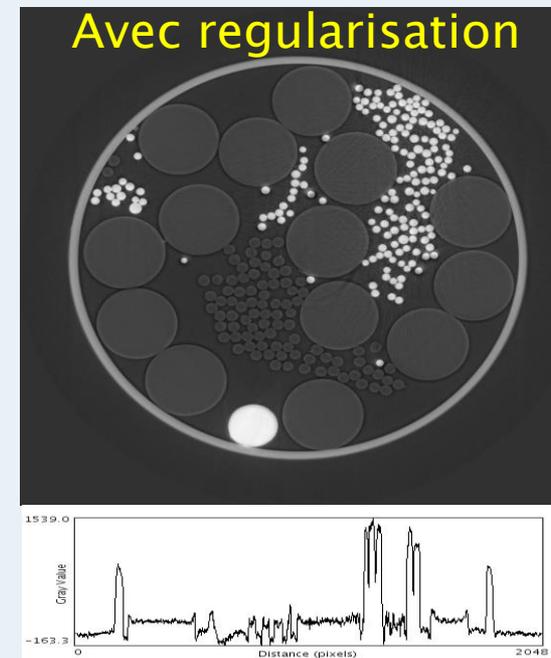
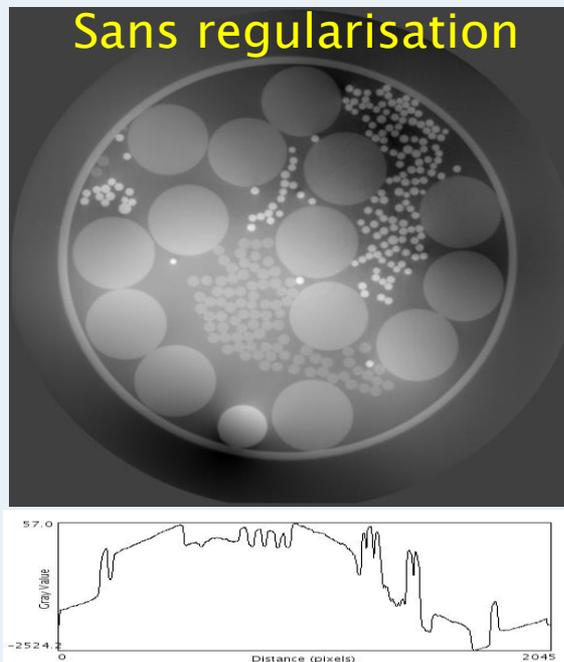
■ Méthode utilisée 2 étapes

- Phase Retrieval
 - Problème non linéaire
 - Sensible au bruit BF
- Tomographie
 - Reconstruction standard par FBP

[Langer et al., Med Phys., 2008]

[Langer et al., IEEE IP, 2010]

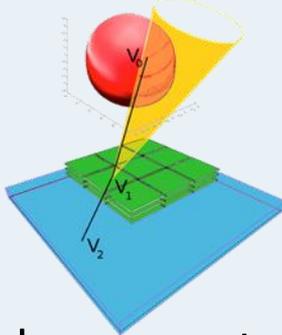
[Davidoiu et al., Opt Express, 2011]



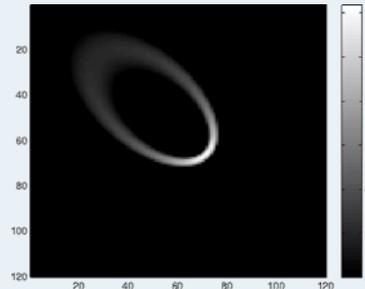
Tomographie – Caméra Compton

■ Imagerie de gamma-prompts en protonthérapie, coll IPNL

- Modélisation : reconstruction à partir de projections sur des cônes
- Etude des propriétés analytiques de la transformée Compton



Exemple :
Projection
Compton

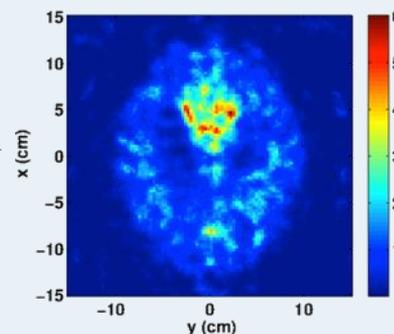
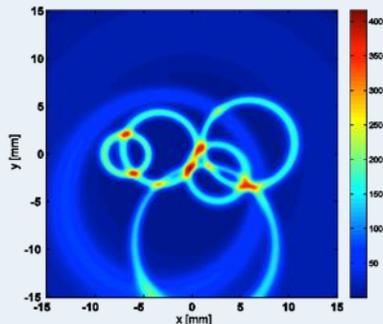


[Maxim et al, Inv. Prb. 2009]
[Maxim, IEEE TIP 2014]

- Développement d'une formule d'inversion analytique

$$f(x, y, z) = 2\pi \int_0^\pi \int_0^\infty \left(\int_{-\infty}^\infty \widehat{P_{\tau, \delta} f}(\rho) J_0(2\pi z \tau \rho) |\rho|^3 e^{2i\pi \rho (-x \sin \delta + y \cos \delta)} d\rho \right) d\tau d\delta.$$

- Méthodes itératives ML-EM ; application au contrôle de la thérapie



[Lojacono, IEEE TNS, 2013]
[Maxim et al, Phys Med Biol 2015]
[Hilaire et al, Phys Med Biol, soumis]

Débruitage de signaux par ondelettes

- Restoration de signaux bruités observés sur des **plans d'expérience aléatoires** (thèse de doctorat en mathématiques appliquées)

$$Y_i = f(X_i) + \sigma Z_i, \quad X_i \text{ i.i.d. de loi } G.$$

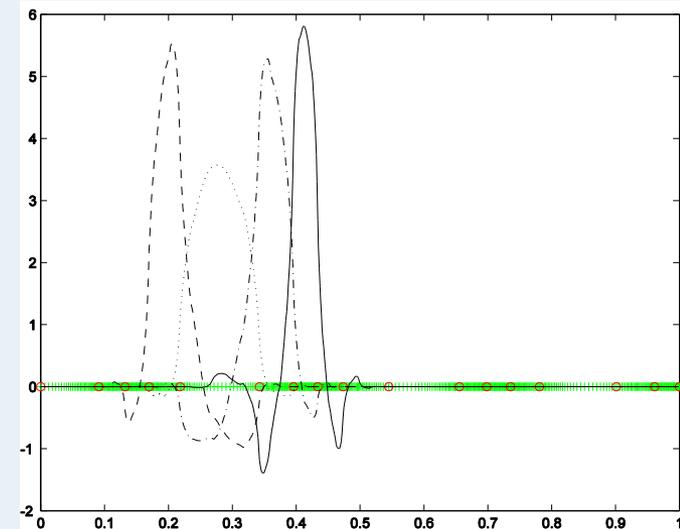
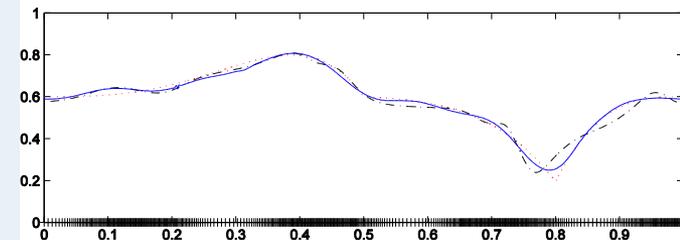
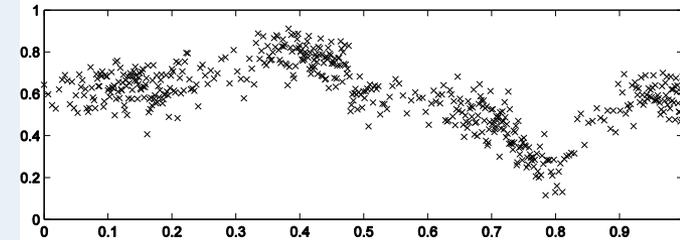
- ondelettes orthonormées classiques

$$\sup_{f \in B_{spq}} E \left(\|\hat{f} - f\|^2 \right) = O\left(\left(\frac{\ln n}{n}\right)^{\frac{2s}{2s+1}}\right)$$

[Maxim, Curves and Surf Fit 2002]

- ondelettes biorthogonales adaptées au plan d'expérience

[Maxim et Mazure, Num Alg 2004]

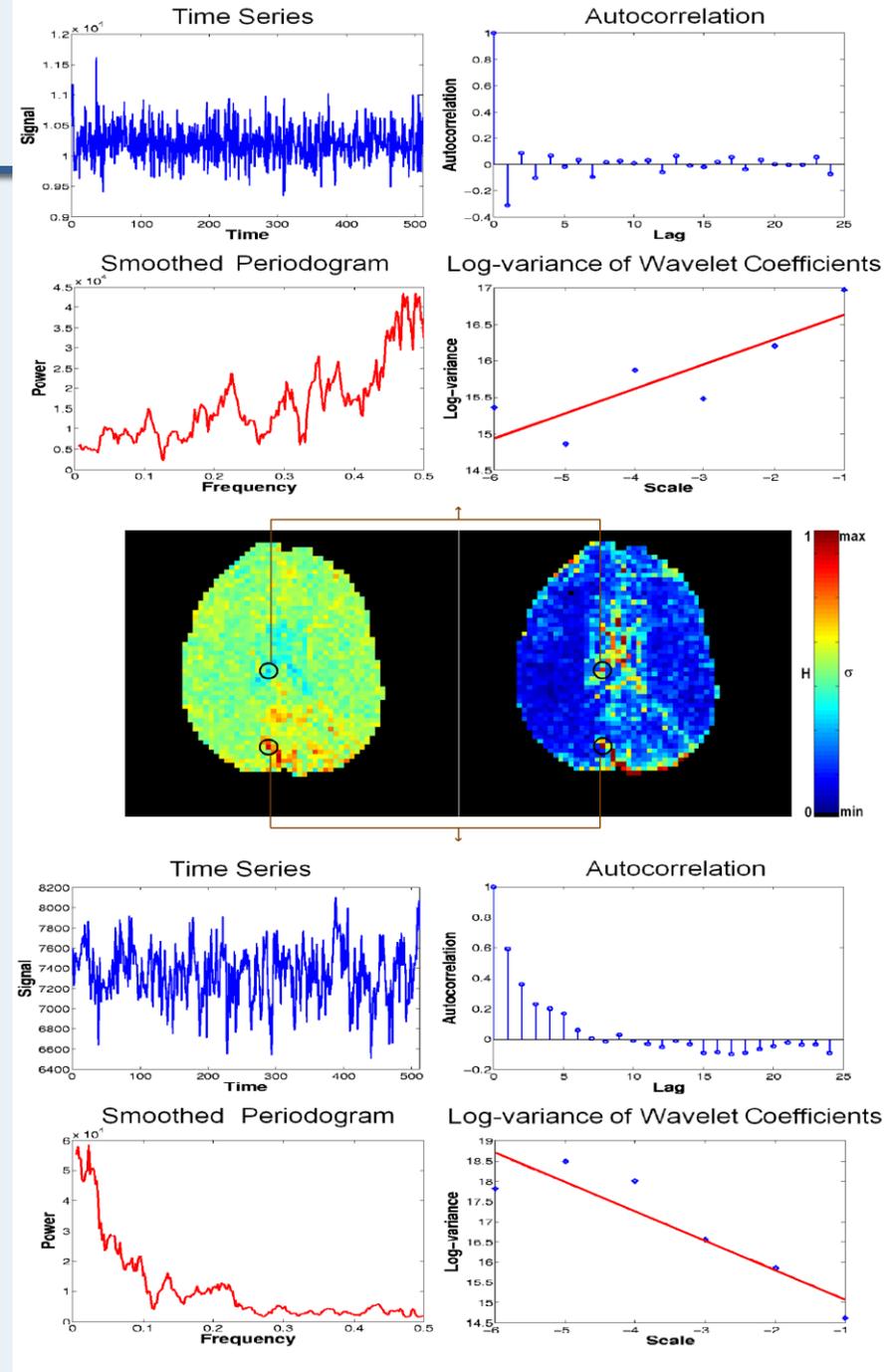


Ondelettes et IRMf

■ Problèmes statistiques liés à l'imagerie par résonance magnétique (stage post-doctoral)

- Corrélation du bruit
- Régression avec bruit corrélé
- Tests d'hypothèses (multiples) pour la détection d'activation

[Bullmore et al, Neuroimage 2004]
[Maxim et al, Neuroimage 2005]
[Sendur et al, IEEE TSP 2005]

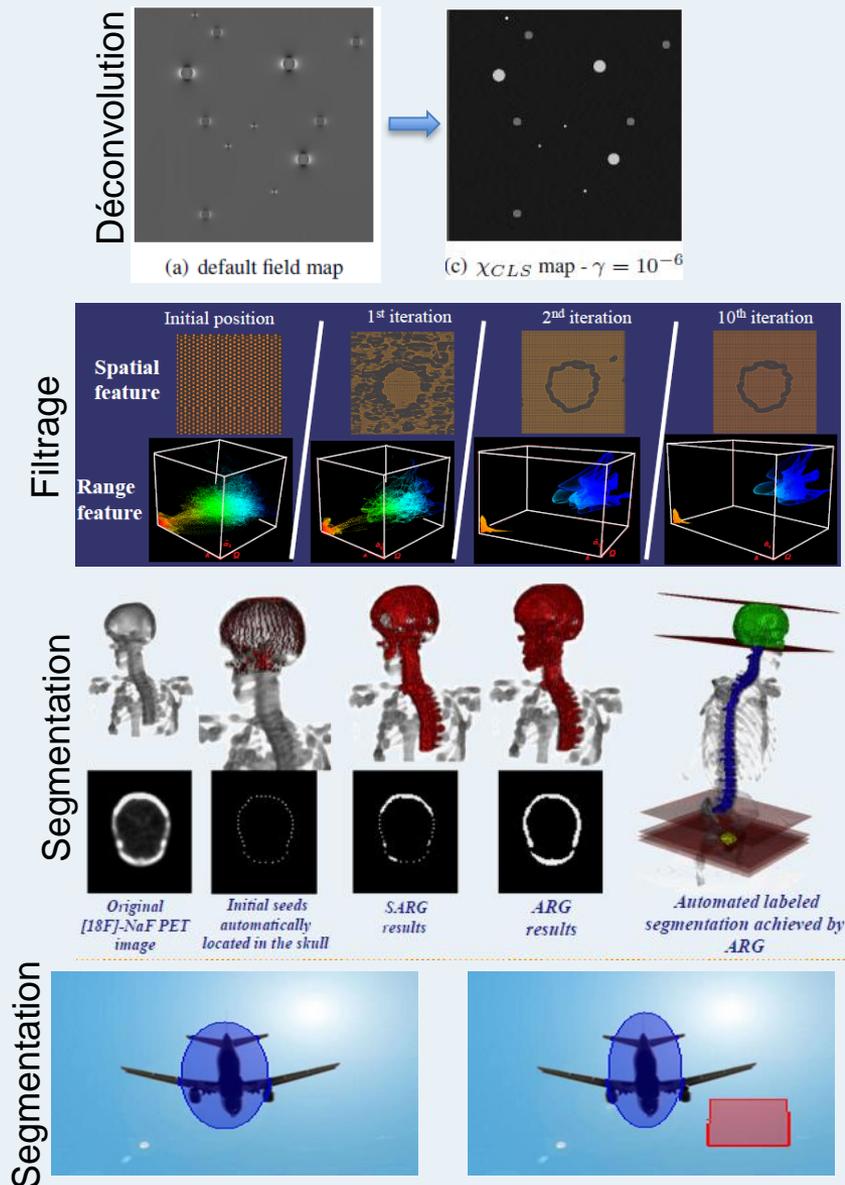


■ Compétences / culture

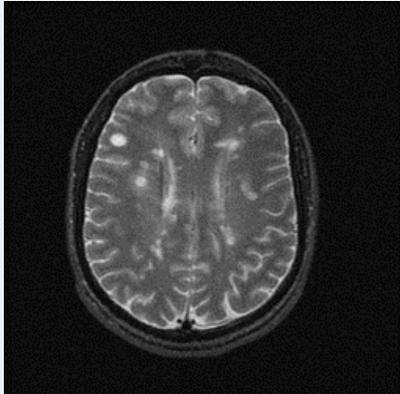
- Traitement d'image: filtrage, segmentation, recalage, analyse
- Informatiques: programmation, optimisations et *concurrency* (C++, R, matlab compilé), architectures, systèmes

■ Domaines recherches

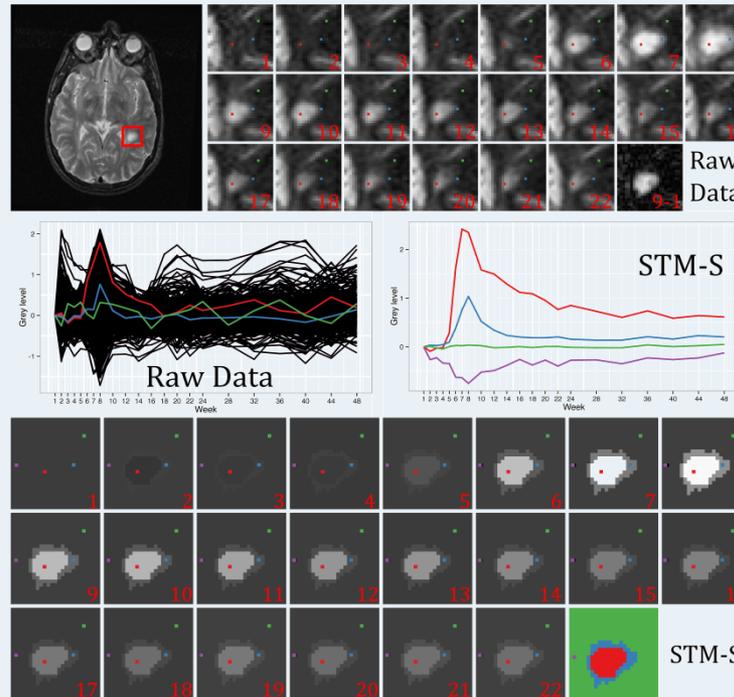
- *Clustering* en traitement d'image médicales: application à l'analyse, la segmentation et au filtrage
- Traitement et analyse de données multidimensionnelles et spatio-temporelles
- Méthodes :
 - Mean shift
 - Croissance de Régions
 - Espace des caractéristiques



Recherches en cours...

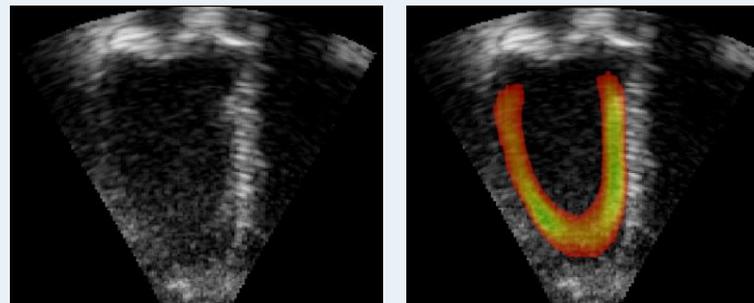


Séquence IRM T2 longitudinale d'une section de cerveau d'un patient atteint de sclérose en plaques



Filtrage et classification non supervisée de comportements temporels similaires

Aide à la segmentation en échocardiographie (O. Bernard) par forêt d'arbres de décisions structurées (apprentissage réalisé sur segmentations expertes)



■ **Compétences / culture**

- Traitement d'image
- Problèmes inverses
- Tomographie RX à faible nombre de vues par approches algébriques
- Prise en compte de l'a priori
- Modélisation du mouvement
- Expérience en Contrôle Non destructif (radiographie industrielle acier, inox)

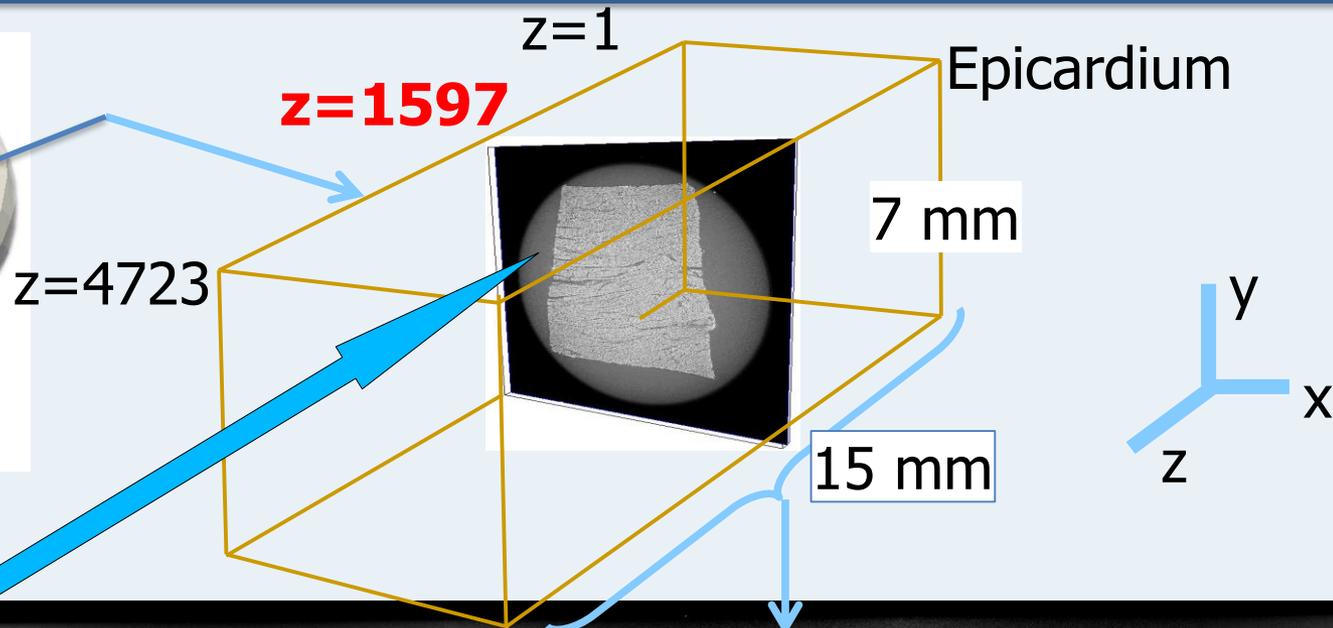
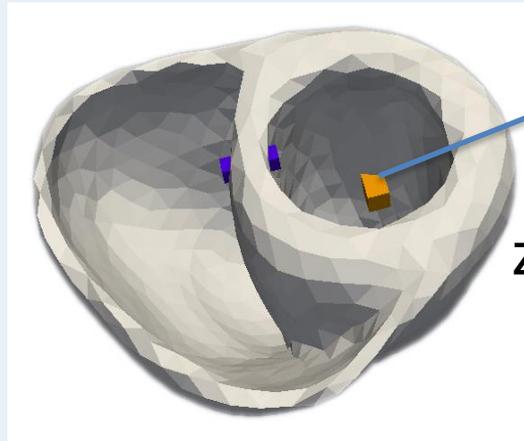
■ **Domaines applicatifs**

- Imagerie cardiaque
- Imagerie vasculaire

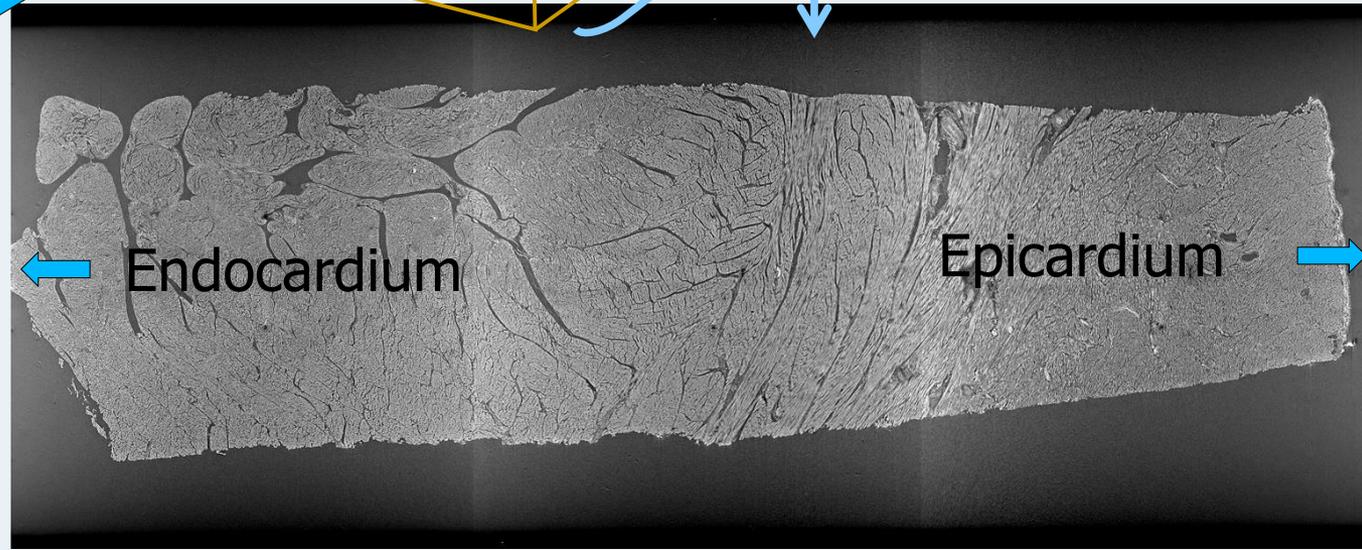
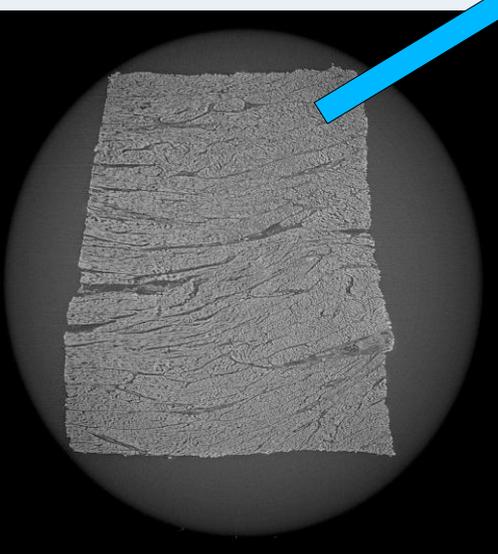
■ **Recherches actuelles: imagerie de l'ultrastructure 3D du cœur humain**

En RX synchrotron par contraste de phase, histologie 2D , segmentation, analyse,

3D Phase contrast X Ray imaging of the human heart



slice no. 1597

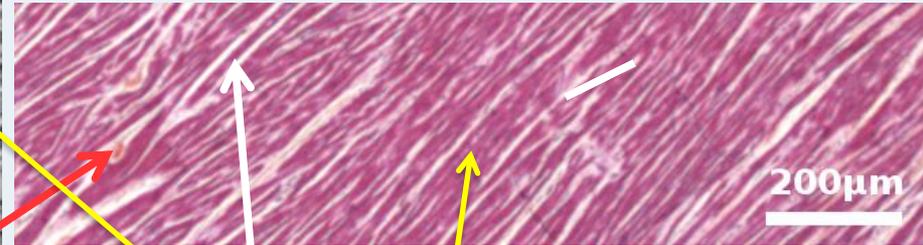
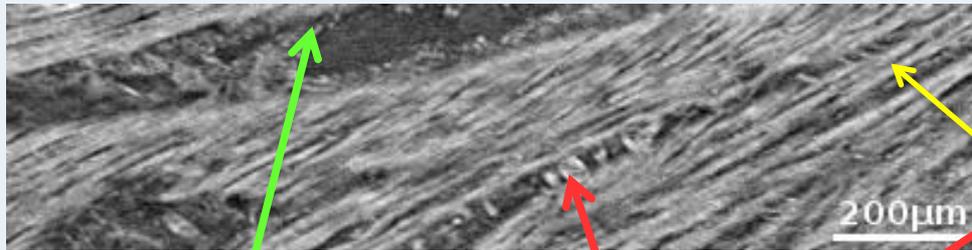


Inferior part of the posterior wall of the left ventricle

3D X-ray PCI vs 2D histology

2D slice of the 3D X-ray PCI

2D Histological section

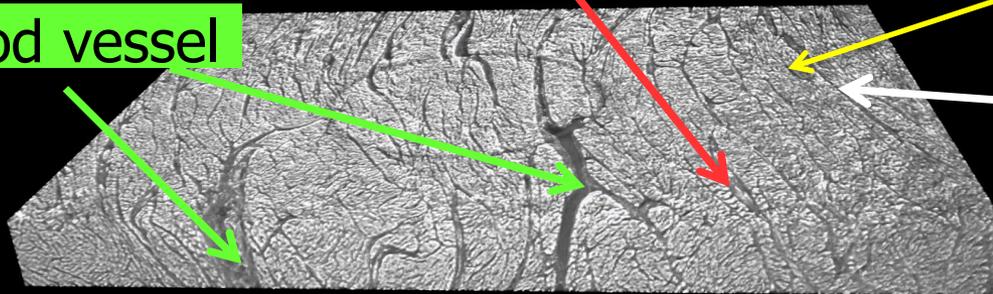


capillary with blood cells

myocyte

Intercellular sheet

Blood vessel



1 mm

Projet dans le cadre de 3DCLEAN

▪ Stages de master février –août 2016

- Identification des images floues, TEM scripting
- Correction des projections floues
(recrutement en cours)

▪ Thèse 2016-2019

- Déconvolution ?
- Prise en compte du mouvement dans l'algorithme de reconstruction ?
- Développement d'un code de reconstruction tomographique adapté aux données de grande taille (problèmes spécifiques liés à l'optimisation en grande dimension) ?

(recrutement en mai 2016, idéalement en continuation d'un stage de master)

Remerciements

■ CREATIS

- Bruno Sixou
- Simon Rit
- Max Langer
- Nicolas Ducros

■ ESRF

- Alexandra Pacureanu
- Peter Cloetens
- Elodie Boller