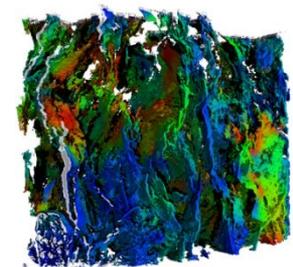




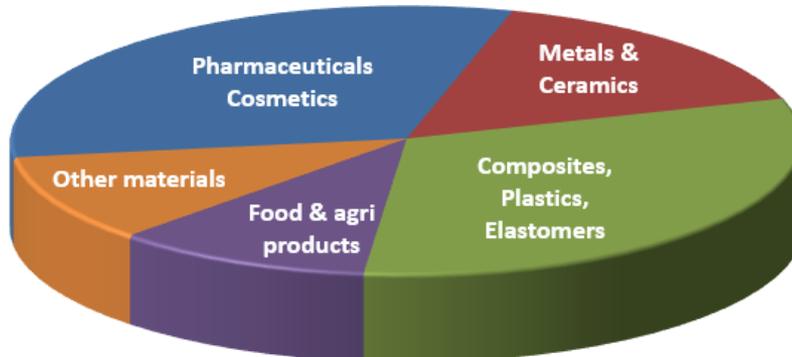
La micro-tomographie synchrotron,  
un outil de contrôle 3D unique

[Olivier Guiraud](#), Barbara Fayard

[www.novitom.com](http://www.novitom.com)



- Premier fournisseur de services en caractérisation 3D des matériaux et contrôle non-destructif avancé basé sur le rayonnement synchrotron
- Analyses sur-mesure
- Clients : R&D matériaux et procédés, expertises, contrôle, analyse de défaillance, marketing, communication



# Une approche pluridisciplinaire pour une offre sur mesure



Choice of techniques

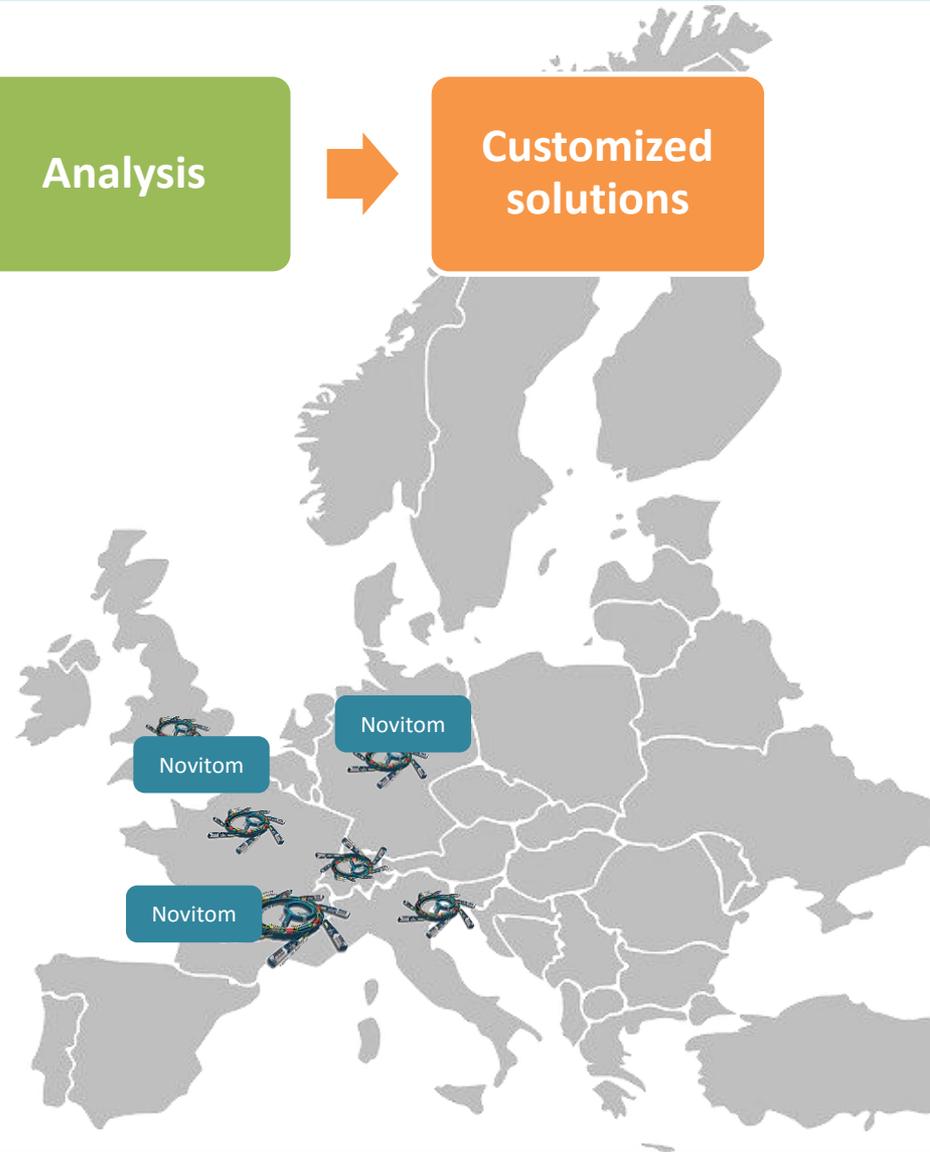


Analysis



Customized solutions

- Sample preparation
- Data acquisition
- 3D Data processing
- Image processing algorithms
- Sollicitation devices



ESRF - Grenoble



Sur synchrotron

Monochromateur

Faisceau X

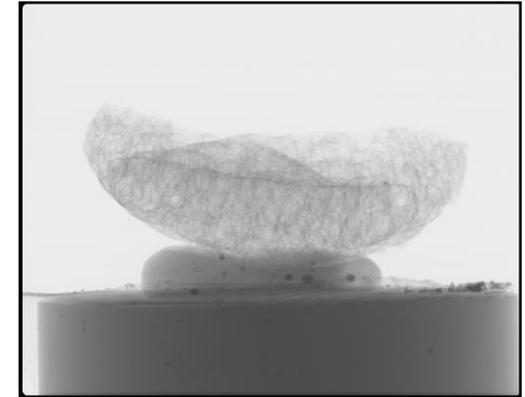
Filtres

Echantillon

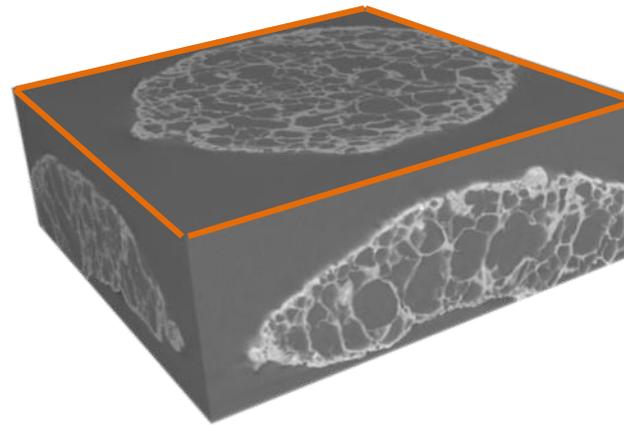
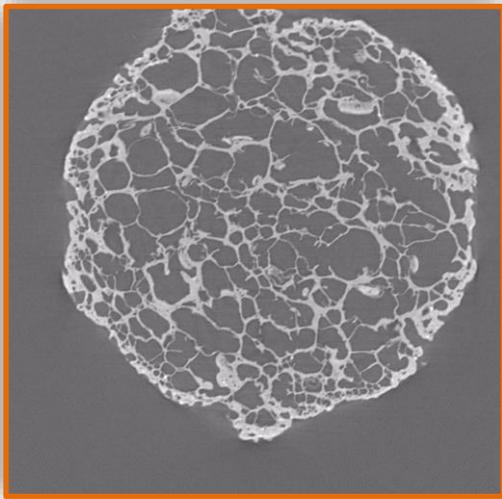
Optique visible

Caméra 2D

Radiographies 2D



3D volume



Céréales



Air



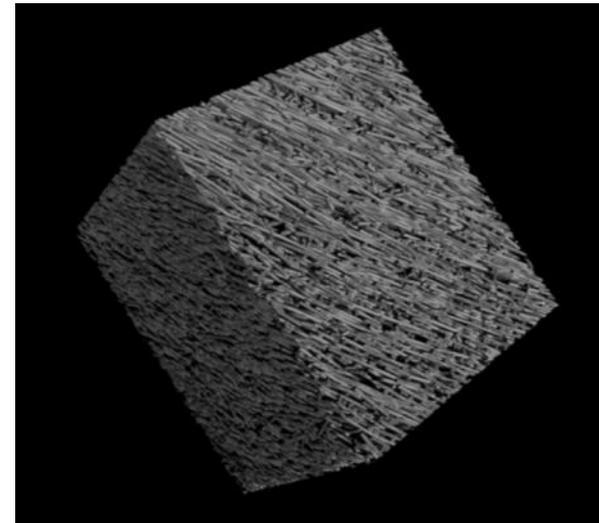
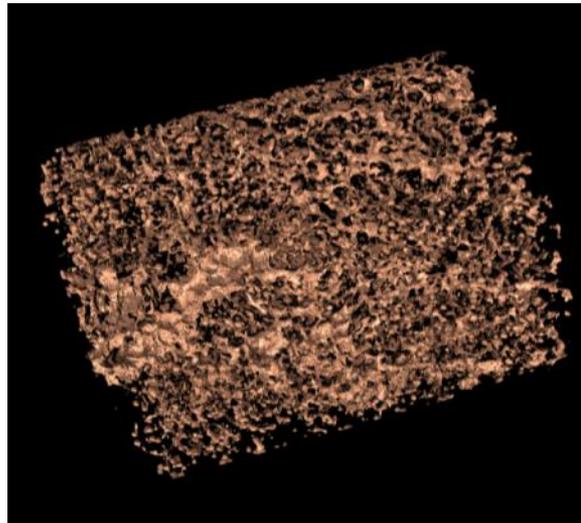
Céréale

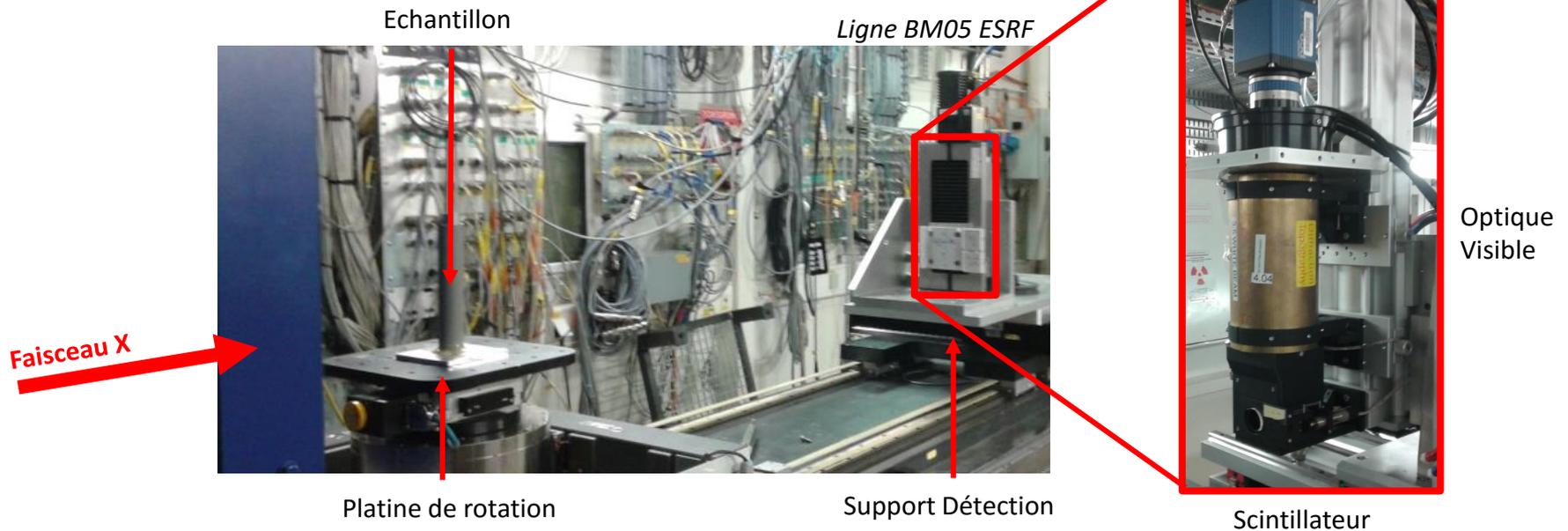
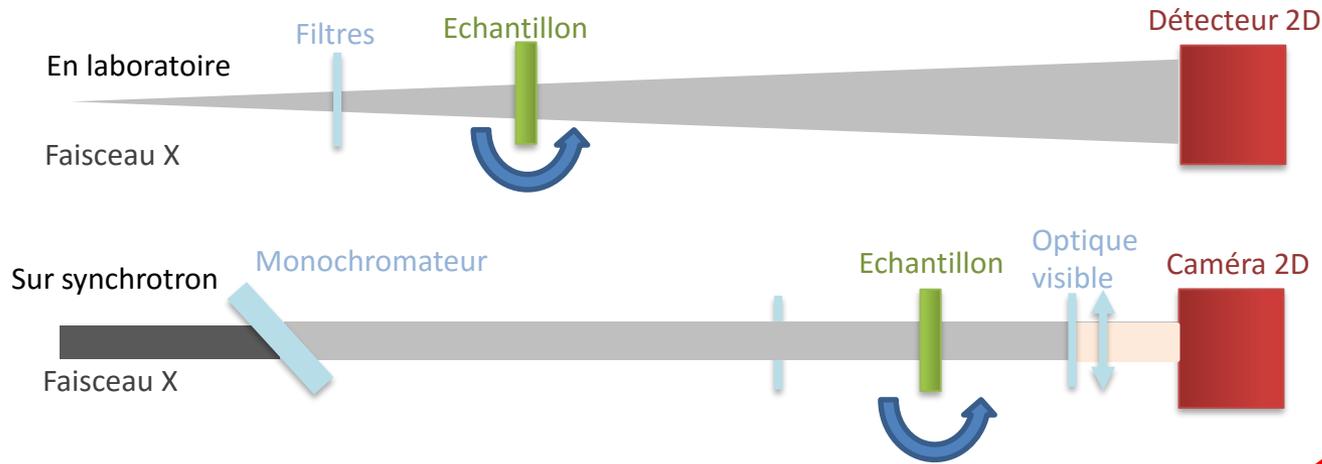
Technique d'imagerie 3D non destructive

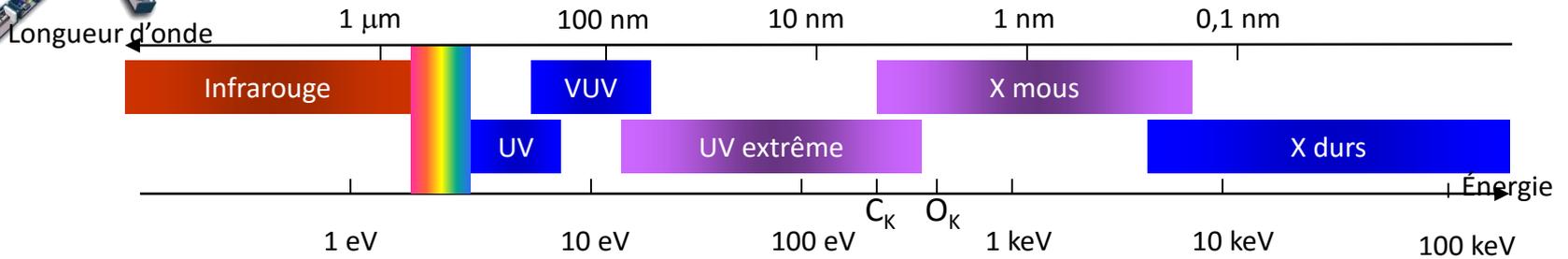
Résolution spatiale ajustable

Tous types d'objets, matériaux analysés

Etudes en environnement contrôlé : température, traction/compression  
mécanique, temps réel







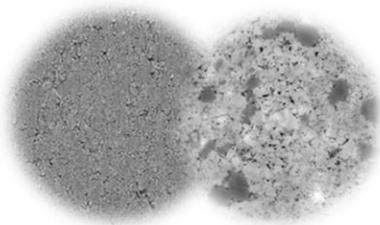
**Source de rayons X très brillante**  
( > 10 ordres de grandeur par rapport aux sources de laboratoire)



**Hautes énergies**  
> 300 keV



**Haute résolution spatiale**  
< 50 nm



**Contraste et de phase**



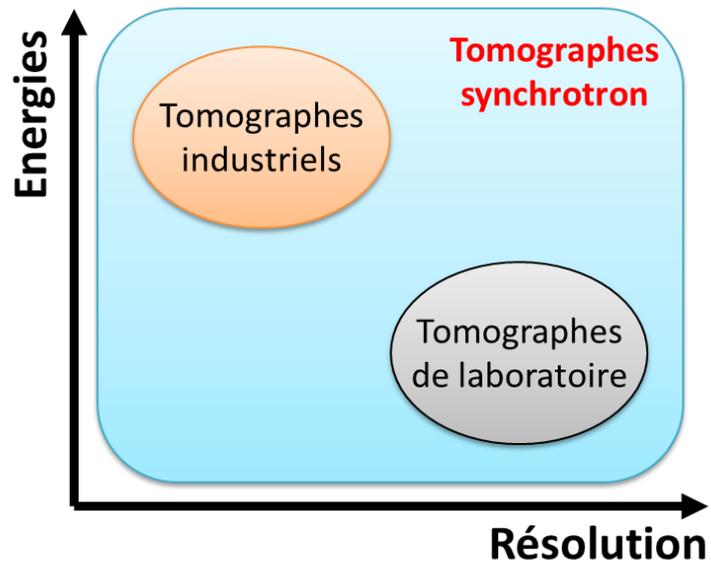
**Acquisition rapide**  
< 1s

Energie de 10 keV à 300 keV

Scans d'objets denses et / ou larges  
(équivalent à 7 cm d'acier)

Taille de pixel: 0.6  $\mu\text{m}$  – 50  $\mu\text{m}$

Contraste de phase possible



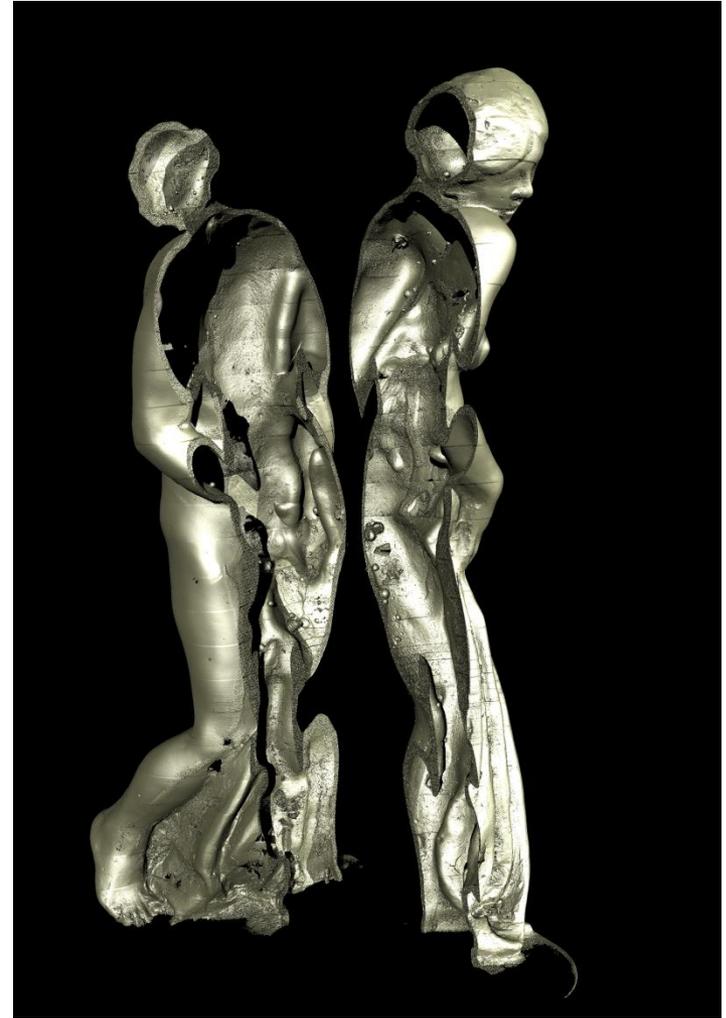
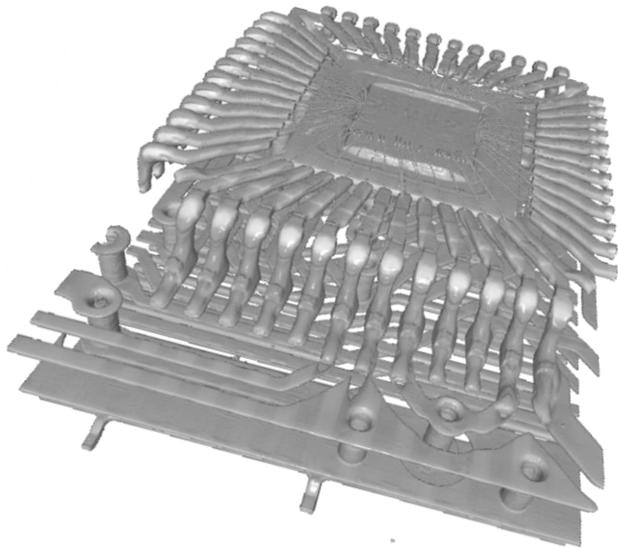
Statue argent, taille de pixel 30  $\mu\text{m}$ , Gilles Perrault Expertises

Energie de 10 keV à 300 keV

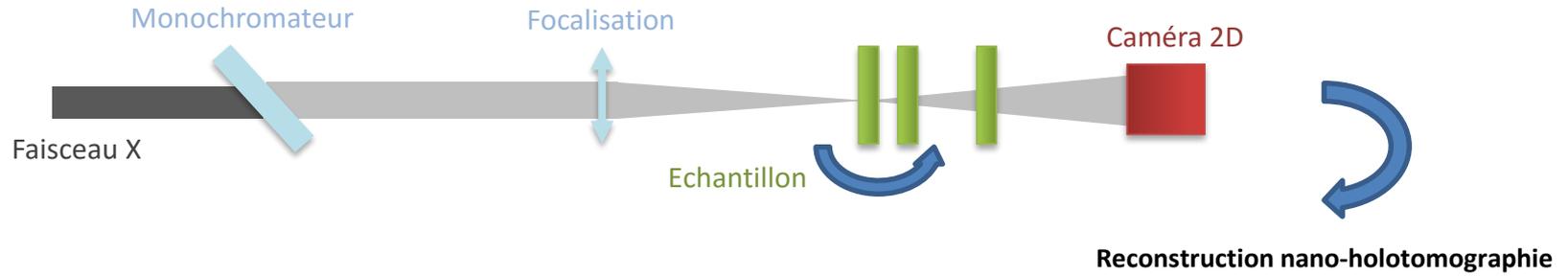
Scans d'objets denses et / ou larges  
(équivalent à 7 cm d'acier)

Taille de pixel: 0.6  $\mu\text{m}$  – 50  $\mu\text{m}$

Contraste de phase possible



Statue argent, taille de pixel 30  $\mu\text{m}$ , Gilles Perrault Expertises



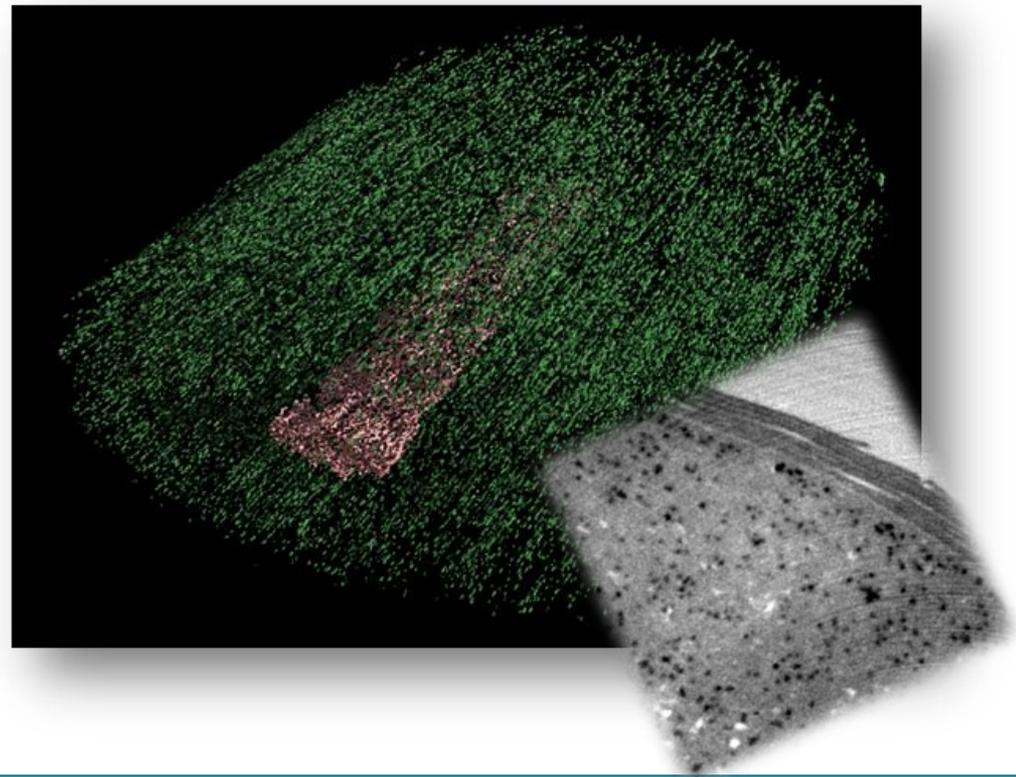
Energie: 20– 60 keV

Scans de petits objets ( 100  $\mu\text{m}$  de champ de vue)

Méthodes d'holo-tomographie X (densitométrie)

Taille de pixel: 20 nm – 100 nm

Actuellement non compatible avec mesures cinétiques





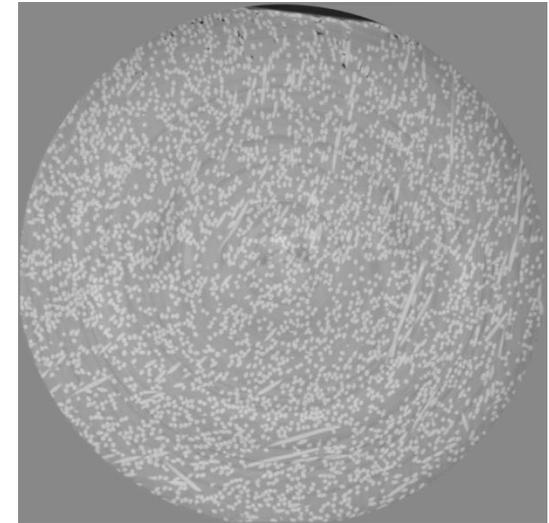
Accessible pour toutes les énergies / tailles de pixels

Scans d'objets :

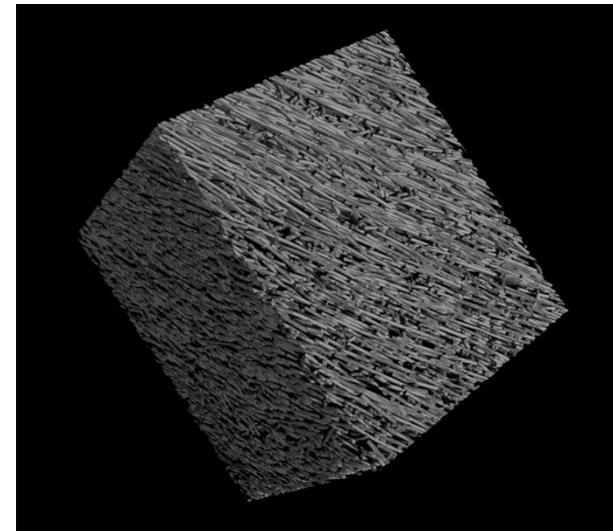
- de faible densité (transparents aux rayons X)
- Ou dont les phases ont des densités voisines
- Ou pour renforcer la détection de porosités, fissures, de contaminants

Méthodes d'estimation de la phase ou d'holo-tomographie X  
(densitométrie)

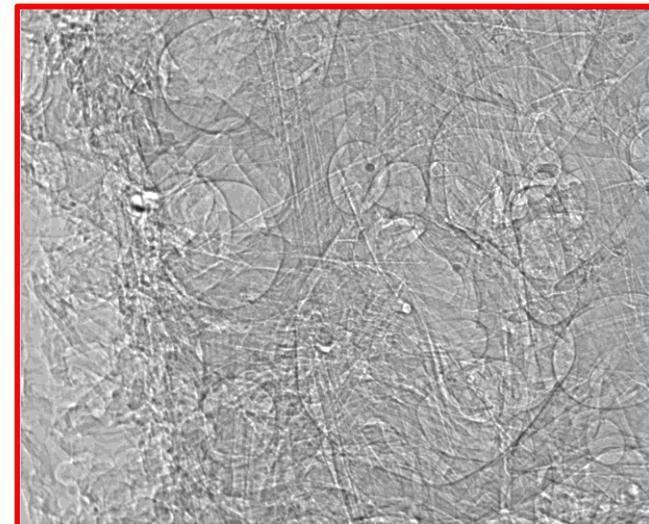
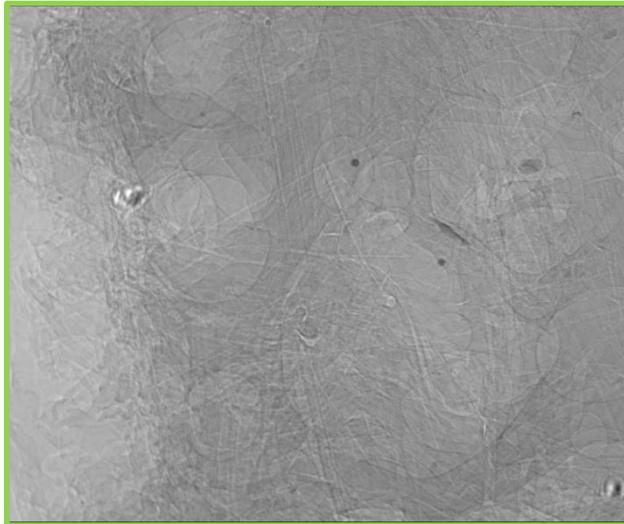
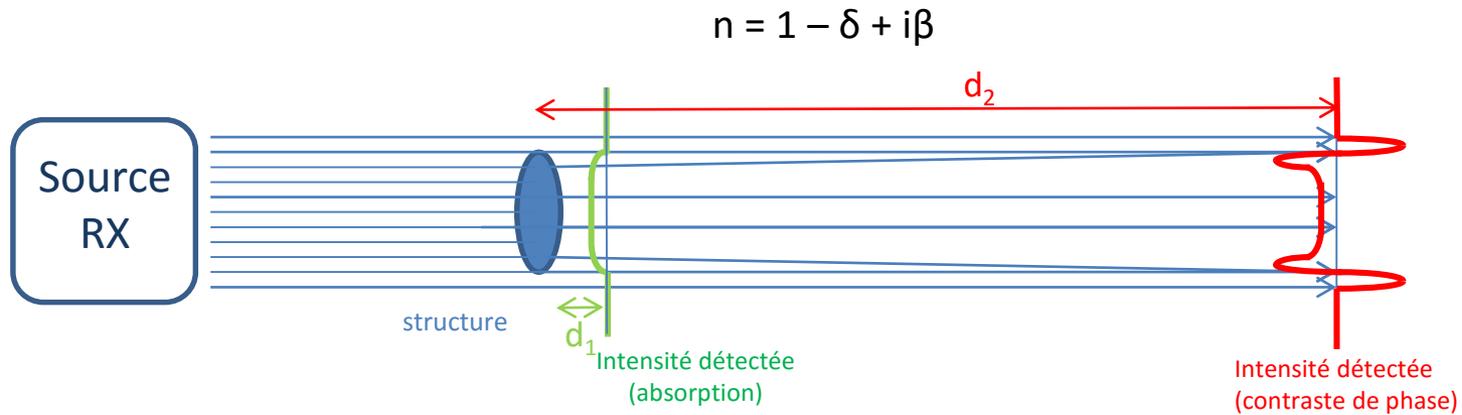
Taille de pixel: 50 nm – 50  $\mu$ m



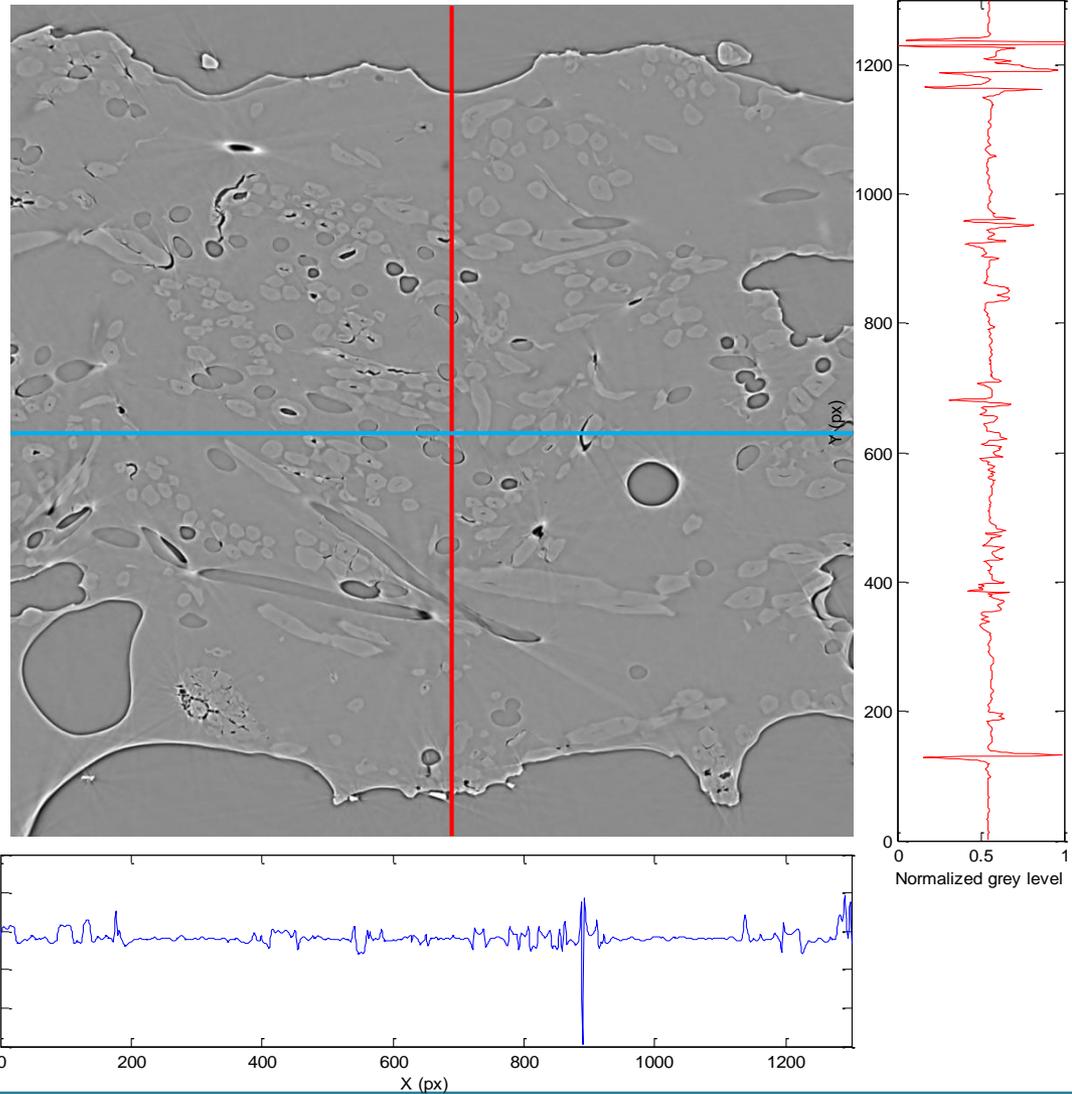
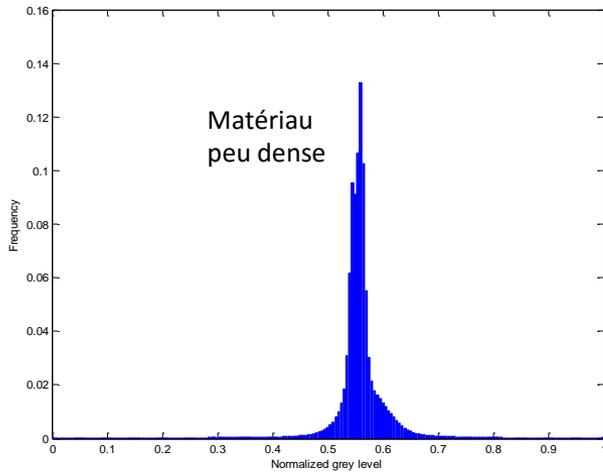
Composite carbone, matrice époxy,  
Taille de pixel: 0,3  $\mu$ m



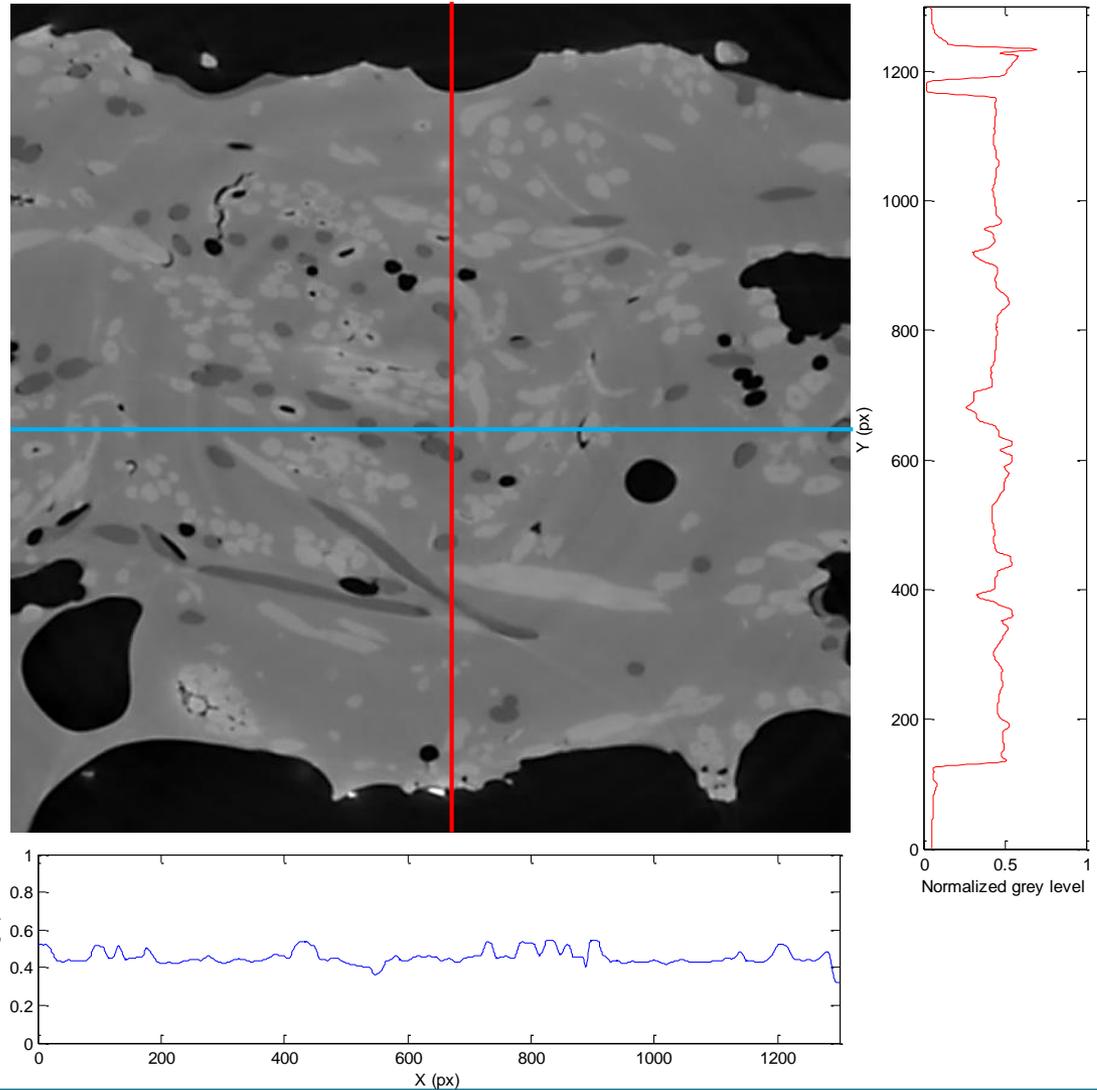
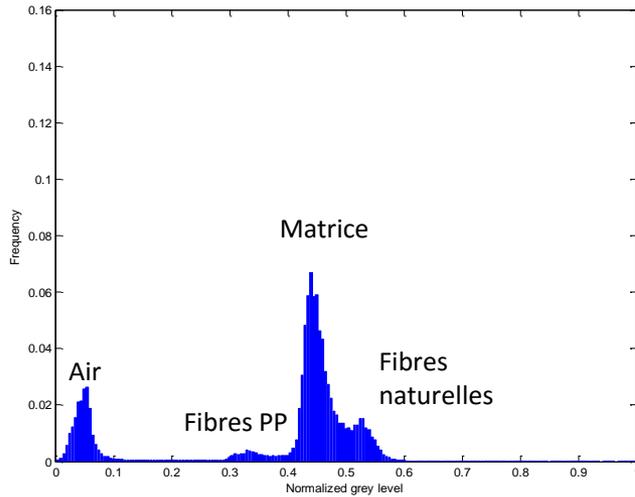
Contraste d'absorption et contraste de phase



Echantillon composite: matrice polyester, fibres polypropylène, fibres de lin, porosités

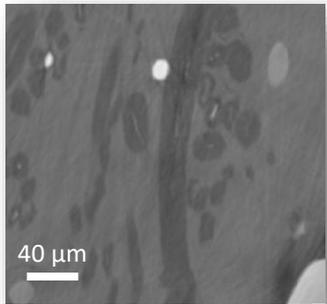


Echantillon composite: matrice polyester, fibres polypropylène, fibres de lin, porosités

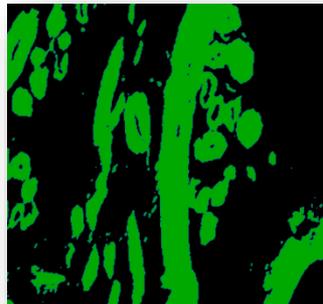


Extraction de données quantitatives : contrôles des fractions volumiques

Image en niveau de gris



Individualisation/Segmentation des phases



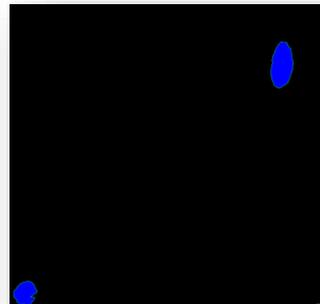
 Fibres de lin  
vf ~ 34 %



 Matrice polyester  
vf ~ 62 %

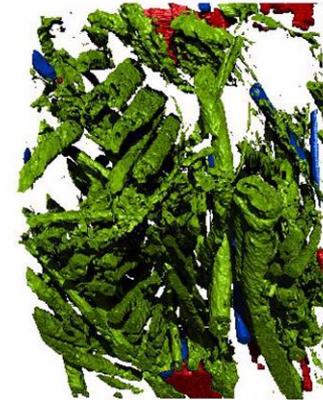


 Air  
vf ~ 2 %



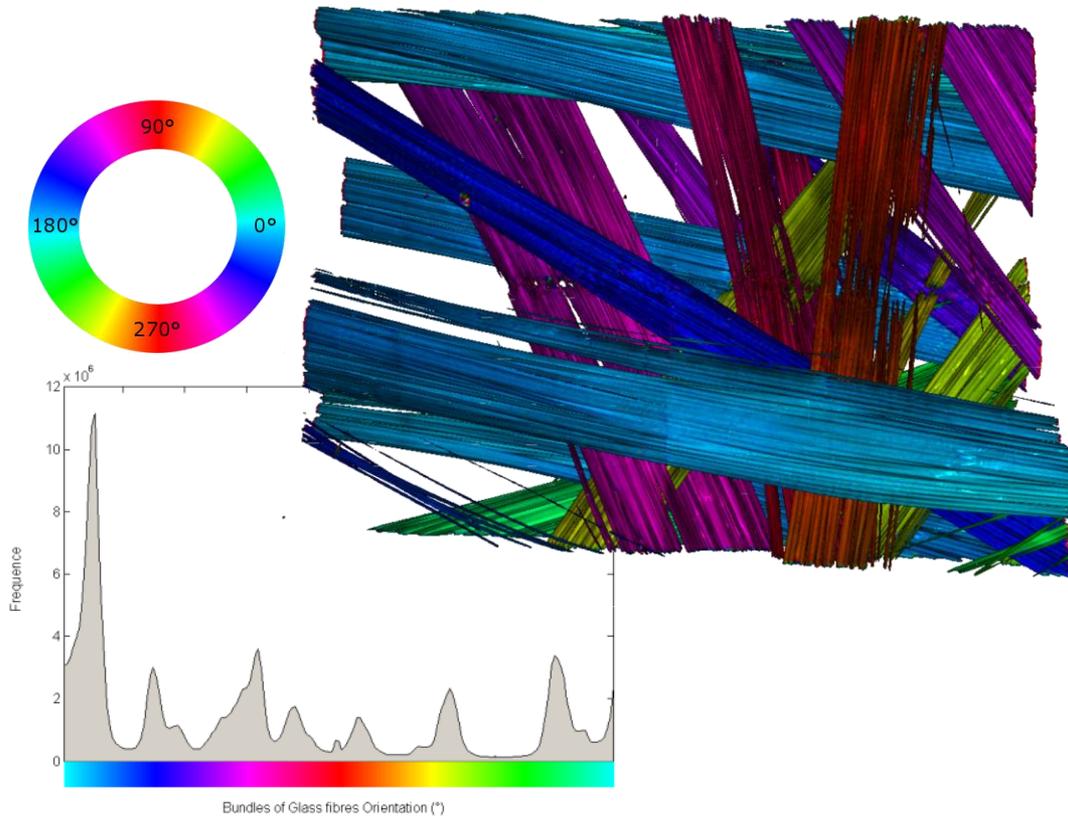
 Fibres PP  
vf ~ 2 %

Rendu 3D de l'échantillon sans la matrice polyester

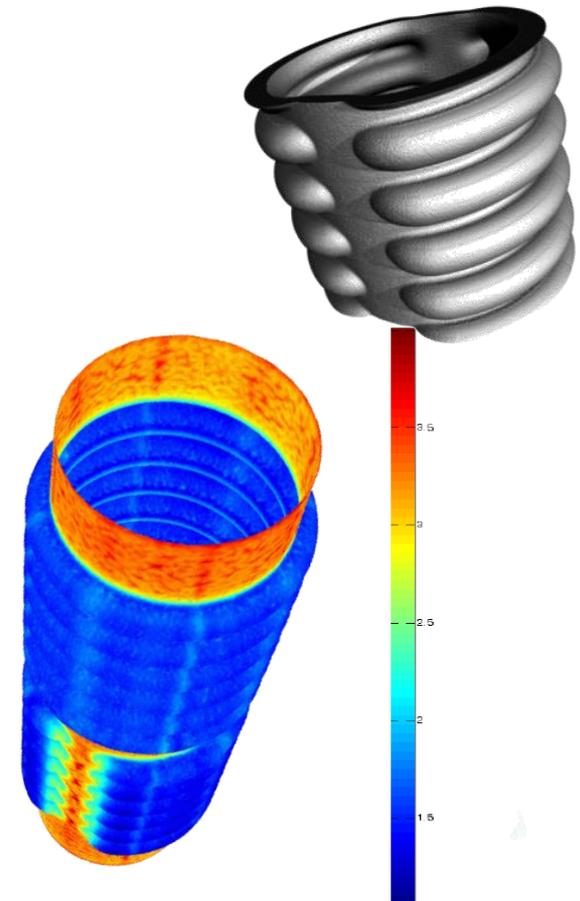


Extraction de données quantitatives

Calcul de l'orientation 3D des mèches de fibres au sein d'un matériau composite



Mesure de l'épaisseur d'une pièce plastique injectée



Energie: 20– 200 keV

Scan < 1s de bonne qualité

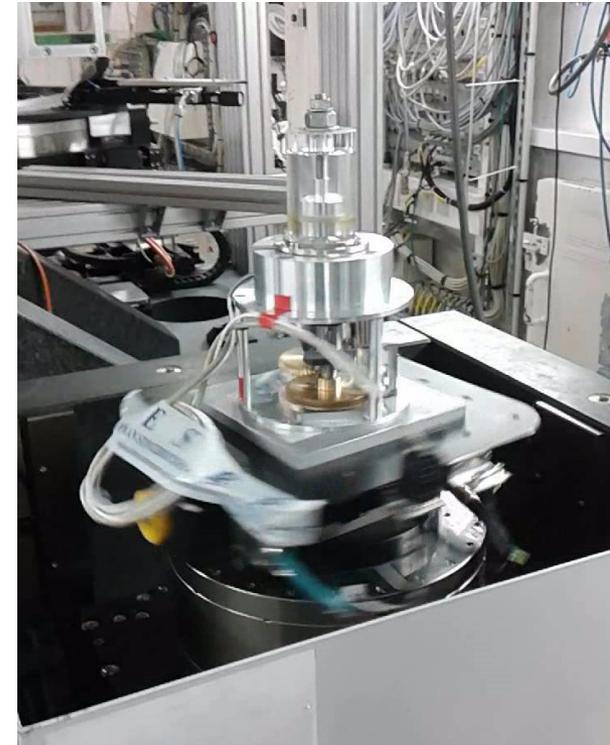
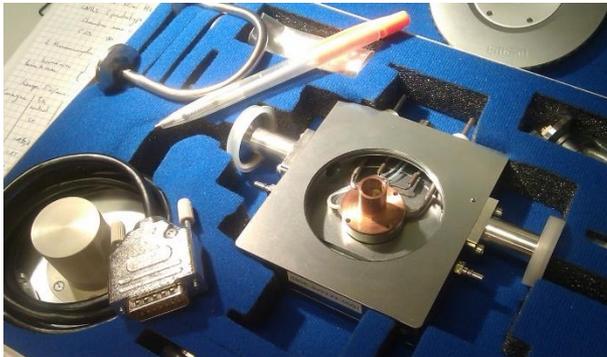
Taille de pixel: 0.6  $\mu\text{m}$  – 30  $\mu\text{m}$

Compatible avec l'estimation de phase

Conditions d'acquisition compatibles:

- Temperature : -100°C à 1500 °C
- Humidité, gaz
- Traction, compression, flexion
- Fatigue

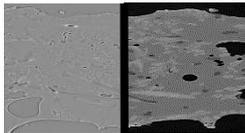
*Four ESRF*



*Micro-Press NOVITOM*

- **Atouts du rayonnement synchrotron**

- **Contraste de phase** : différencier des phases dont les densités sont proches
- **Résolutions élevées** : analyser des objets de + en + petits
- **Grande brillance** : acquisition d'images au cours de la sollicitation (thermique, mécanique, chimique...) d'un échantillon
- **Haute énergie**
  - Limiter la dose absorbée par les échantillons
  - Allier hautes résolutions et hautes énergies sur des pièces de grandes dimensions ou constituées de matériaux denses



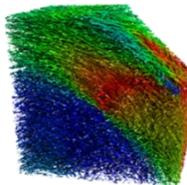
### Imagerie de pointe

Aller au-delà des outils de laboratoires conventionnels



### Développement d'essais *in situ*

Se rapprocher le plus possible des conditions de laboratoire  
Instrumenter de plus en plus les expériences



### Développement d'outils d'analyse d'images

Aller au-delà des mesures classiques (porosités, distributions de tailles...)  
Obtenir la cinématique de chacune des fibres  
Assurer le dialogue expérience/modélisation