

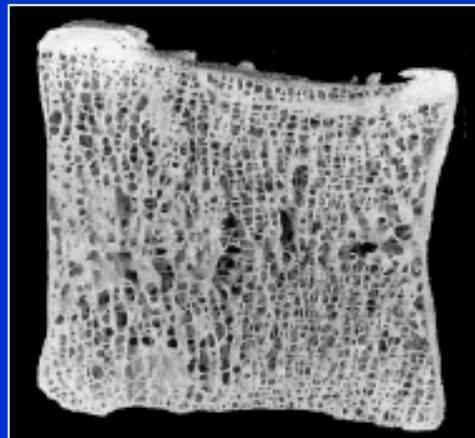
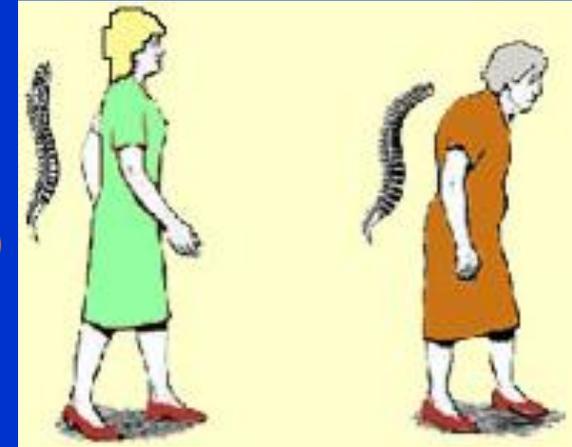
# L'imagerie synchrotron au service de la recherche sur l'ostéoporose

Françoise PEYRIN

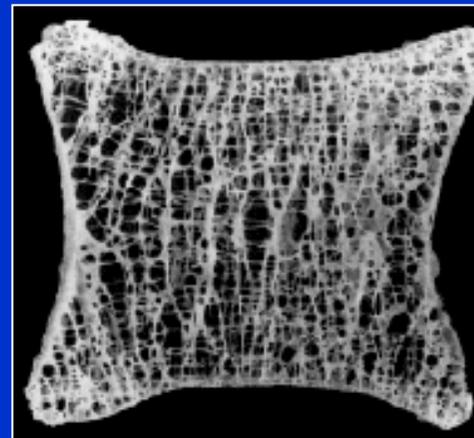
CREATIS, INSERM U1044, UMR CNRS 5220,  
INSA Lyon, Université Lyon, France  
& ESRF, Grenoble, France

# L'OSTEOPOROSE

- ◆ Maladie de la fragilité osseuse
- ◆ Maladie silencieuse
  - 40% des femmes et 13% des hommes > 50 ans
  - décès de 24% des patients 1 an après une fracture (hip)
- ◆ Définition :
  - perte de masse osseuse
  - ET altérations de la micro-architecture osseuse



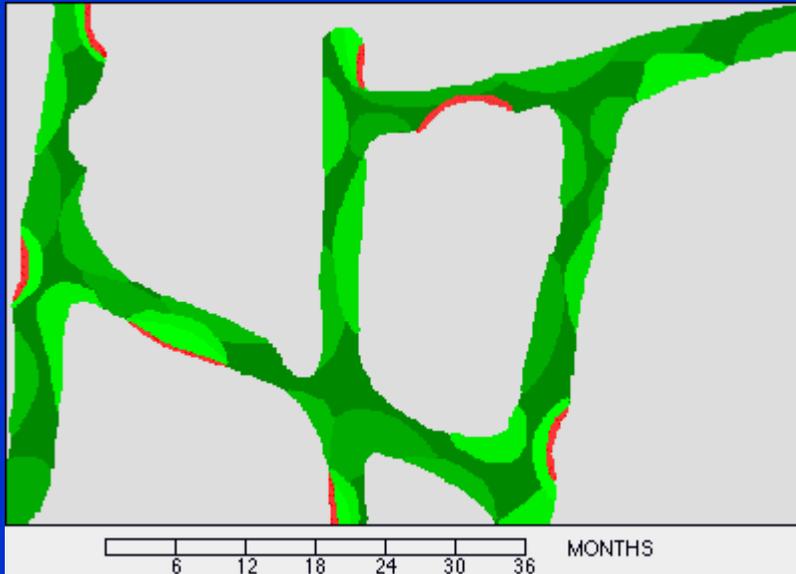
Normal



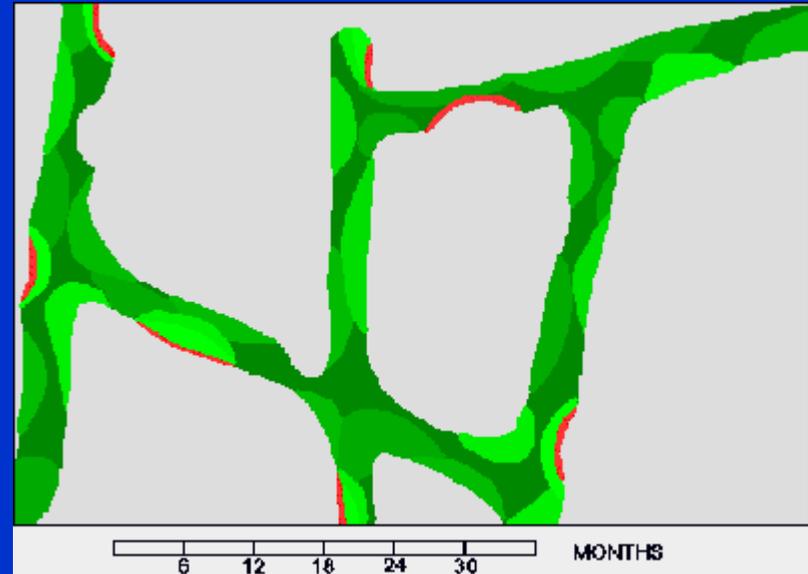
Osteoporose

# L'OS : UN TISSU VIVANT

- ◆ Propriété remarquable :
  - Adaptation aux contraintes mécaniques et Auto-réparation
- ◆ Processus biologique : remodelage osseux



Normal

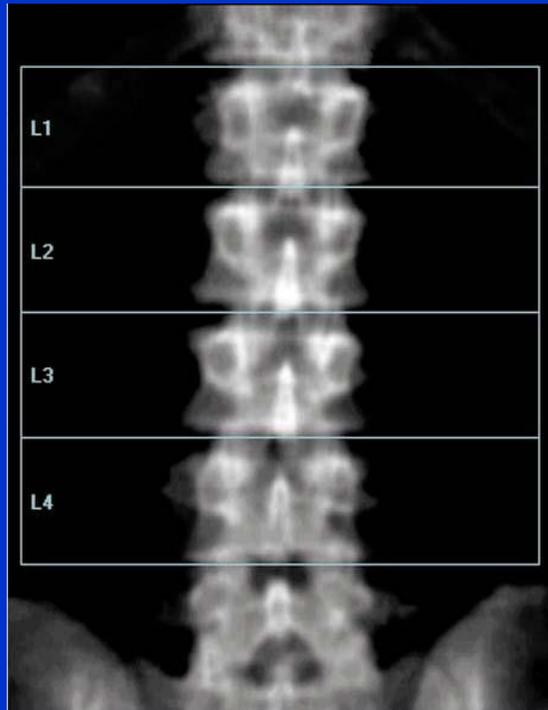


Ménopause

- ◆ Si le remodelage est déséquilibré
  - ⇒ perte de masse osseuse
  - ⇒ alteration de la micro-architecture OSSEUSE

# DIAGNOSTIC DE L'OSTEOPOROSE

- ◆ Absorptiometrie Biphotonique (DXA) ou Ostéodensitométrie
  - 2 radiographies à basse et haute énergie
  - Estimation de la Densité Minérale Osseuse g/cm<sup>2</sup> (DMO ou BMD)



Comparé à une population “normale”

$$T\text{-score} = (\text{BMD}-m) / \sigma$$

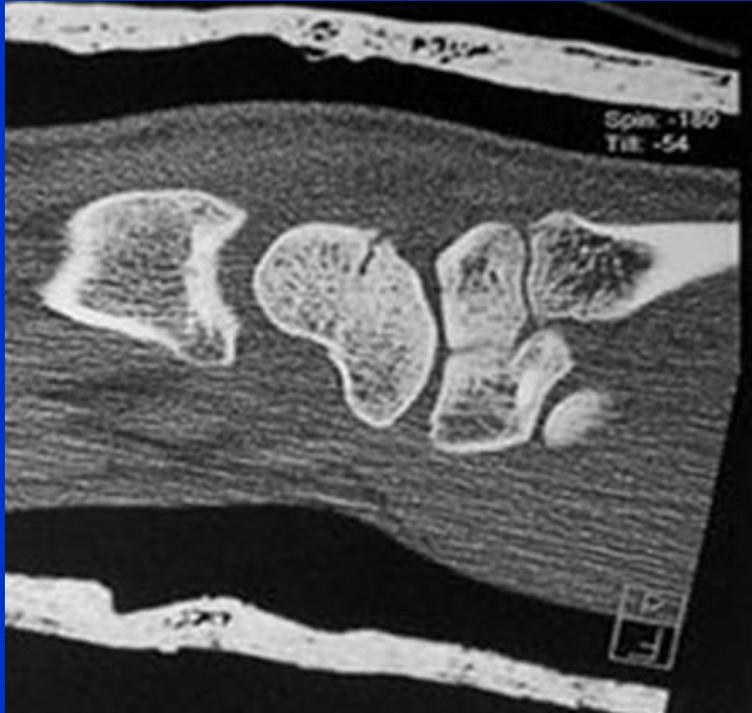
- T-score > -1 ⇒ Normal
- -2,5 < T-score < -1 ⇒ Osteopénie
- T-score < -2,5 ⇒ Osteoporose

## Limitations :

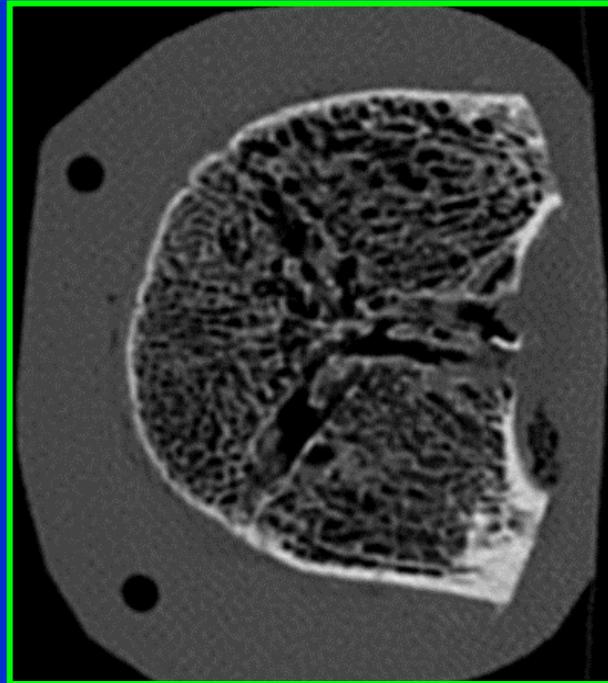
- recouvrement entre patients avec et sans fractures
- ne prédit pas le risque de fracture individuel

# EVALUATION DE LA $\mu$ ARCHITECTURE OSSEUSE

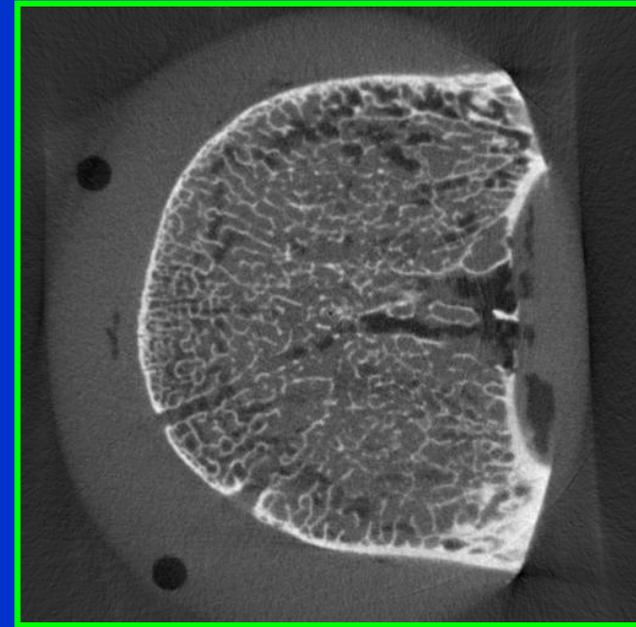
- ♦ Imagerie tomographique par rayons X



Scanner X - In vivo



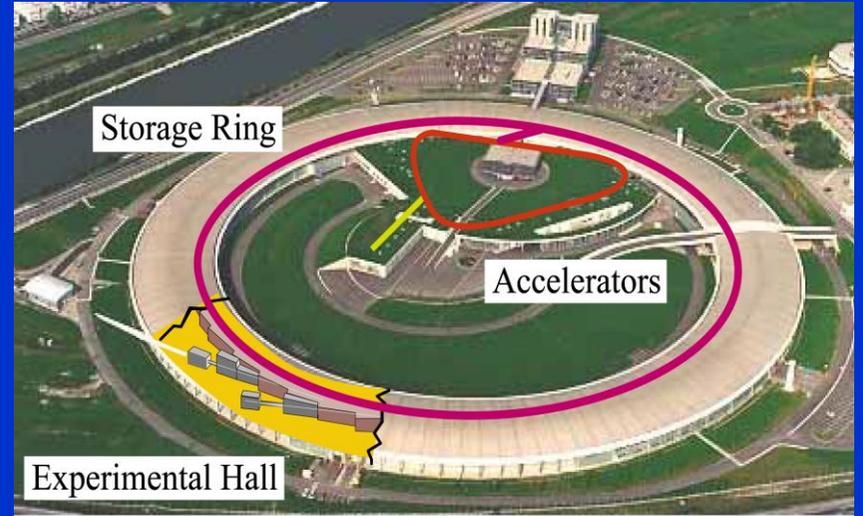
Scanner X - Ex vivo



Prototype INSA Lyon  
CNDRI/CREATIS  
AM Laval-Jeantet

# HISTORIQUE

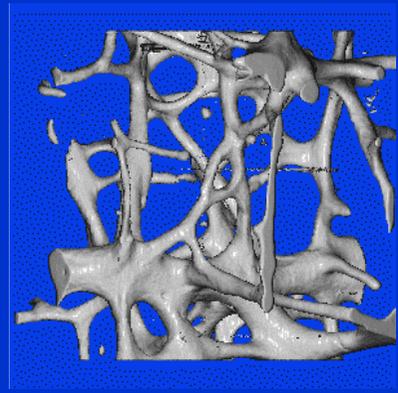
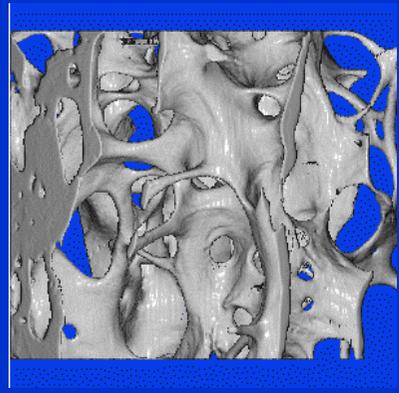
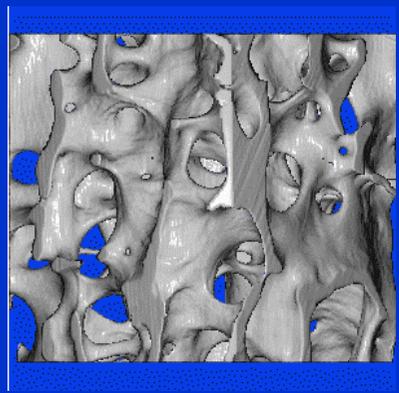
- ◆ 1975 :  Construire un synchrotron capable de produire des rayons X durs hyper brillants.
- ◆ 1988 : signature entre les pays membres
- ◆ 1992 : Premier faisceau d'électrons dans l'anneau de stockage. Mise au point
- ◆ 1994 : Premier ouverture aux utilisateurs  
15 lignes de lumière (sur 40)
- ◆ 1994 : - réunion d'experts en recherche sur le tissu osseux  
- projet de Microtomographie par rayonnement synchrotron  
- thèse M Salomé



# MICRO-CT SYNCHROTRON

- ◆ 1994 : début du projet à l'ESRF
  - M. Salomé, Système parallèle 3D

*[Salomé et al., Med phys, 1999]*



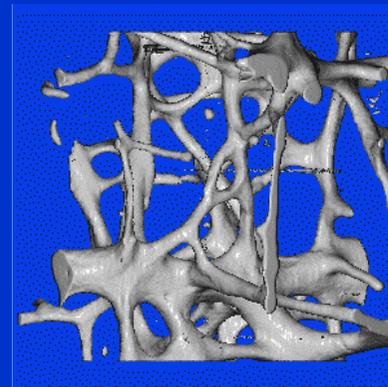
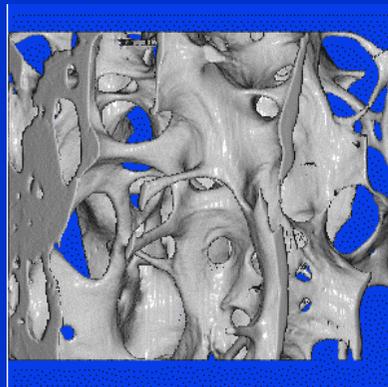
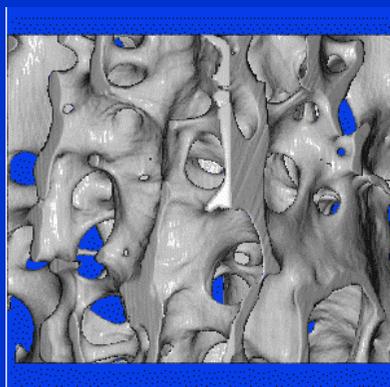
Vertèbres Humaines:  
33, 55, 72 ans

	1997
Taille pixel	6.7 $\mu\text{m}$ (1.4 $\mu\text{m}$ )
decteur	1024x1024 FReLoN
réglage	"manual"
temps scan	~ 4h / 900 proj
reconstruction	jours

# MICRO-CT SYNCHROTRON

- ◆ 1994 : début du projet à l'ESRF
  - M. Salomé, Système parallèle 3D

*[Salomé et al., Med phys, 1999]*

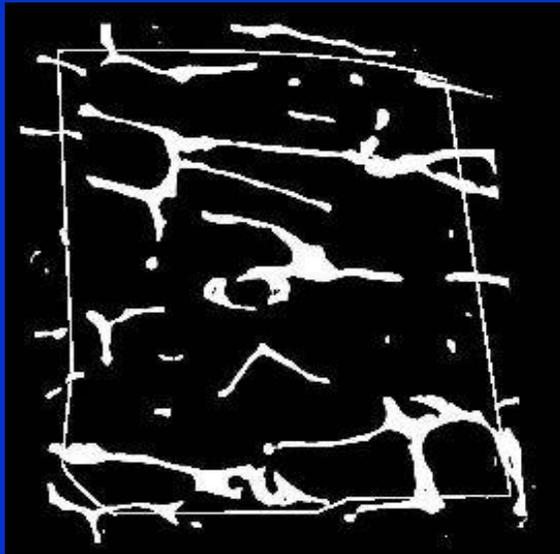


Vertèbres Humaines:  
33, 55, 72 ans

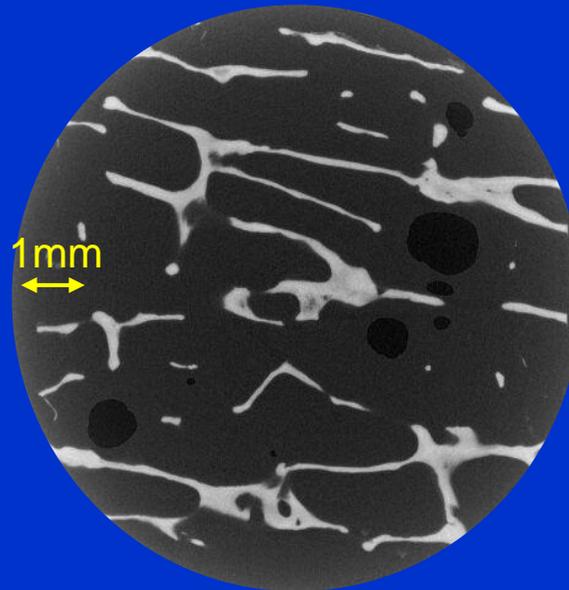
	1997	2010
Taille pixel	6.7 $\mu\text{m}$ (1.4 $\mu\text{m}$ )	[30 $\mu\text{m}$ , 0.2 $\mu\text{m}$ ]
decteur	1024x1024 FReLoN	2048x2048 FReLoN
réglage	"manual"	macros
temps scan	~ 4h / 900 proj	~ 10mn /1500 proj
reconstruction	jours	heure

# Applications au tissu osseux

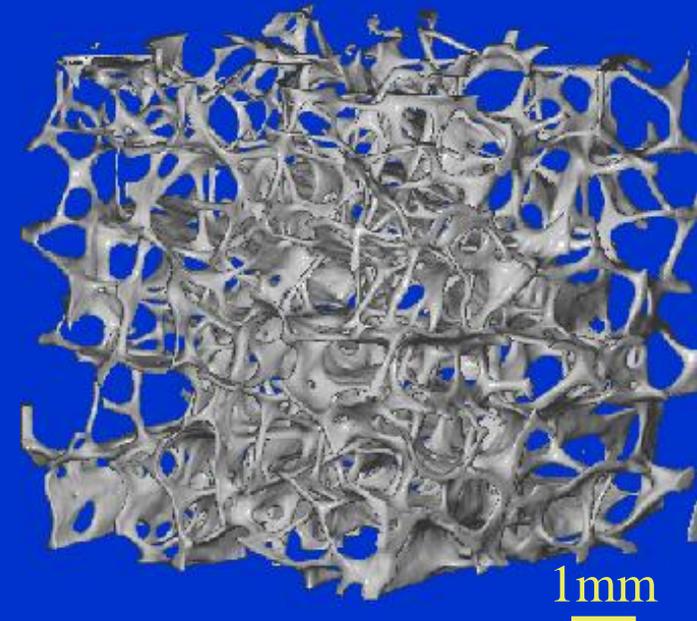
- ◆ Image 3D  $\Leftrightarrow$  piles d'images 2D



Coupe Histologique



Coupe  $\mu$ CT



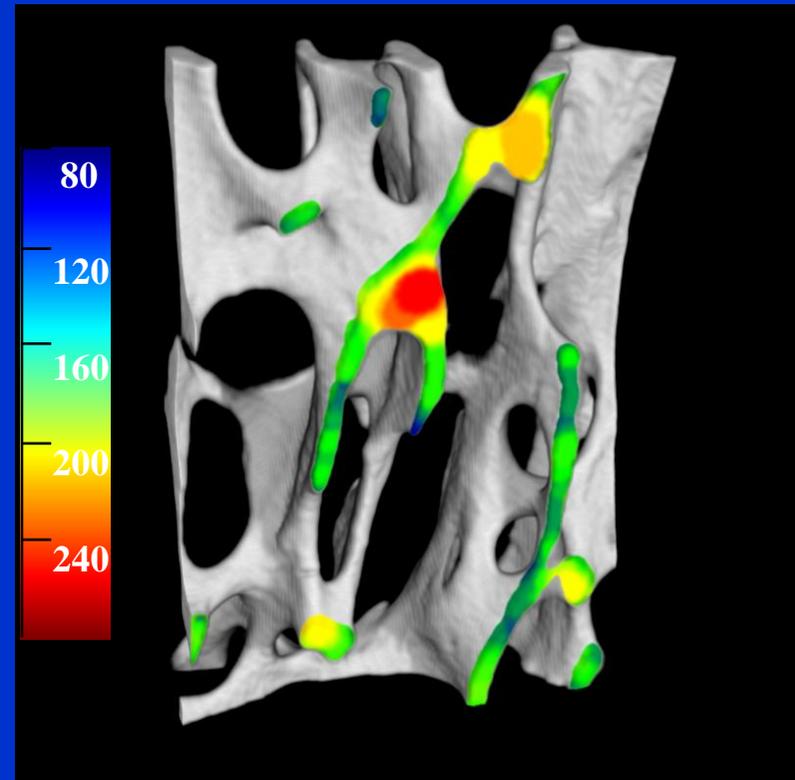
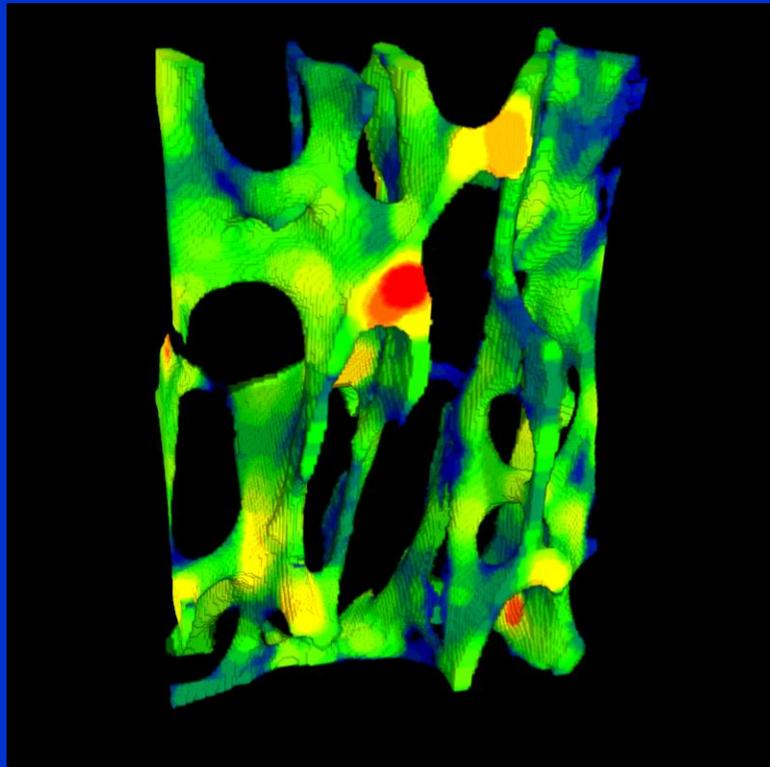
$\mu$ CT 3D

[Follet et al., Bone, 2005]

Morphometrie  
Anisotropie, Geometrie  
Connectivité

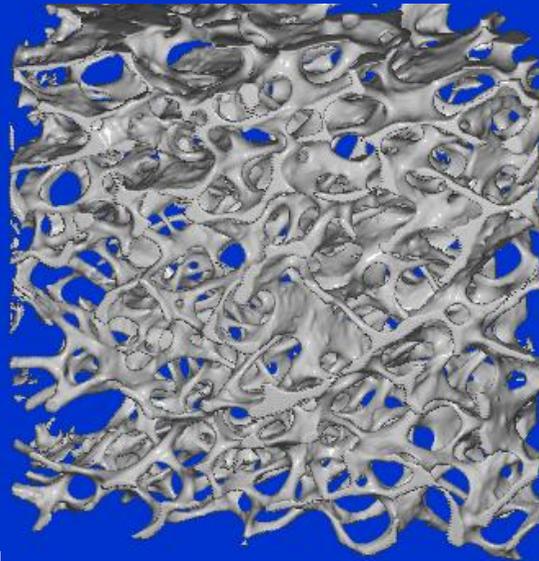
# QUANTIFICATION : CARTE D'ÉPAISSEUR

Épaisseur locale en chaque point de l'image

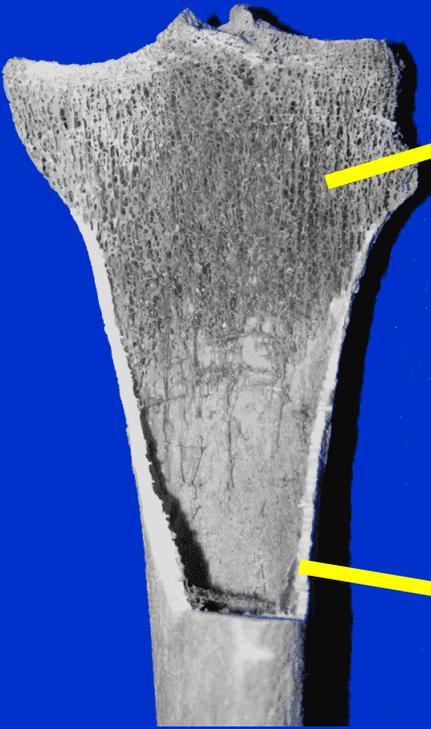
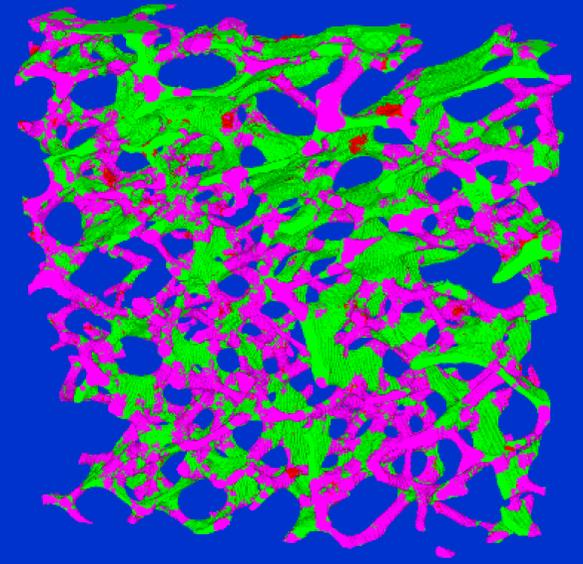


[Apostol et al., Med Phys, 2006]

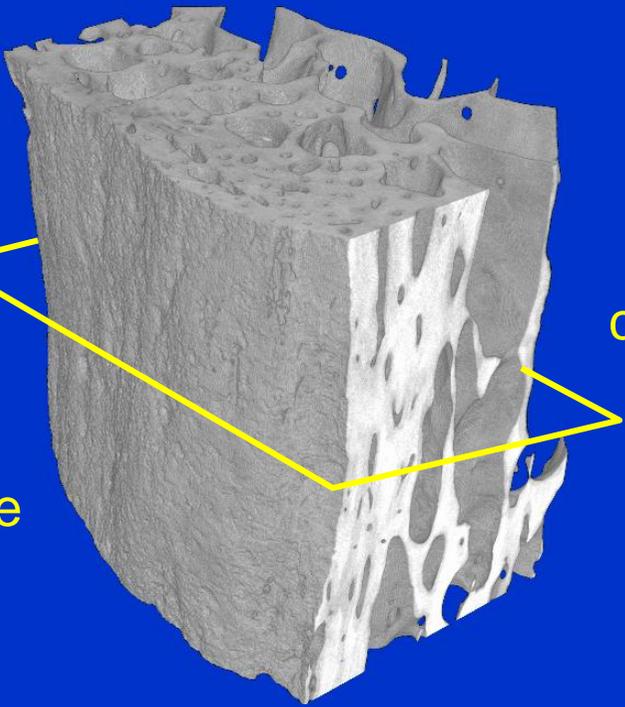
Microstructure  
Trabéculaire



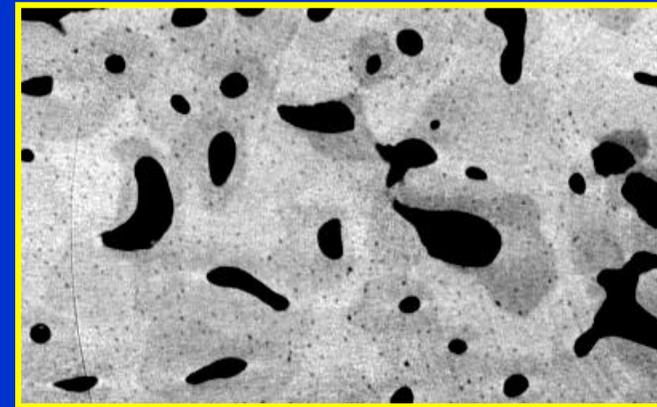
analyse



Microstructure  
corticale



coupe



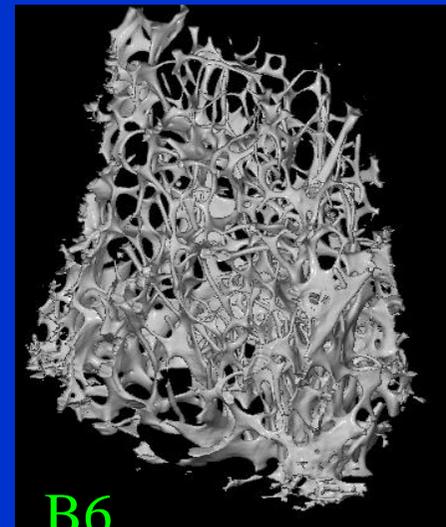
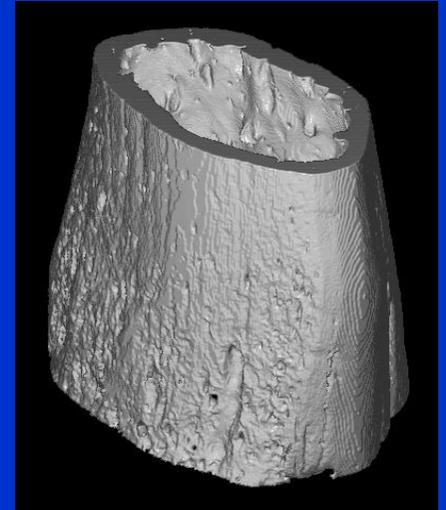
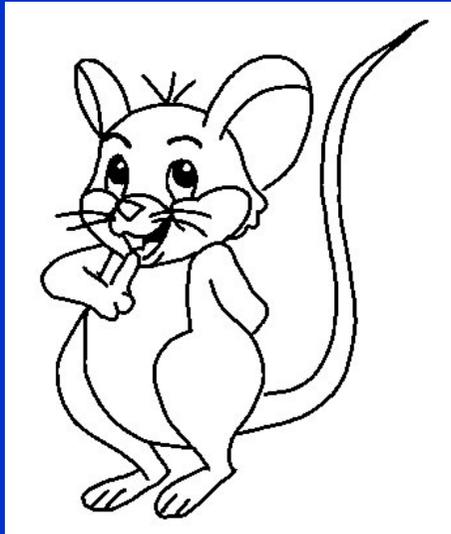
1 cm

100 μm

# MODELE ANIMAL : $\mu$ structure osseuse

Voxel :  $6.7 \mu\text{m}$

- ◆ Modèle d'ostéoporose chez la souris



[Martin-Badosa et al., 2003, *CMIG*]

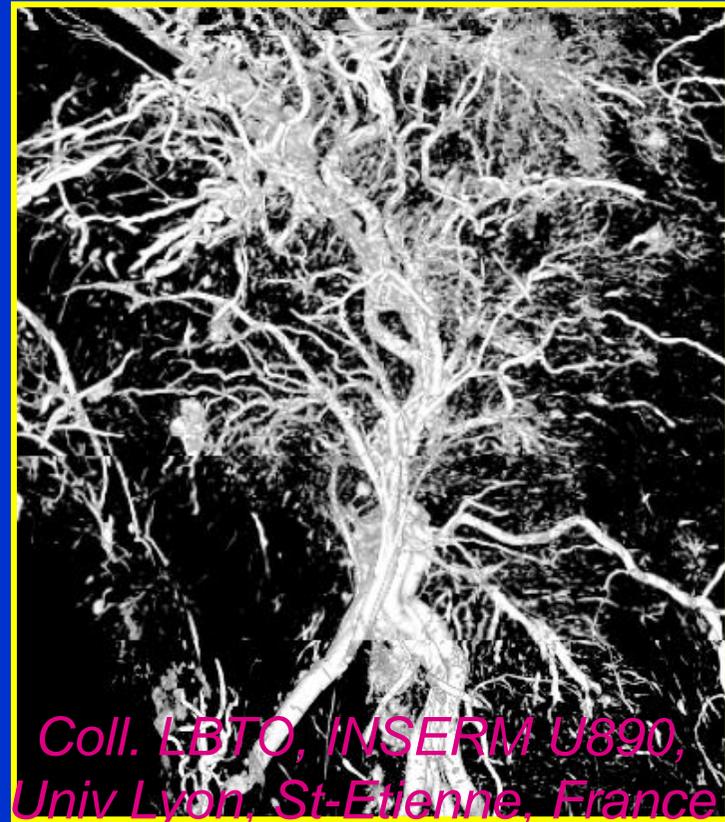
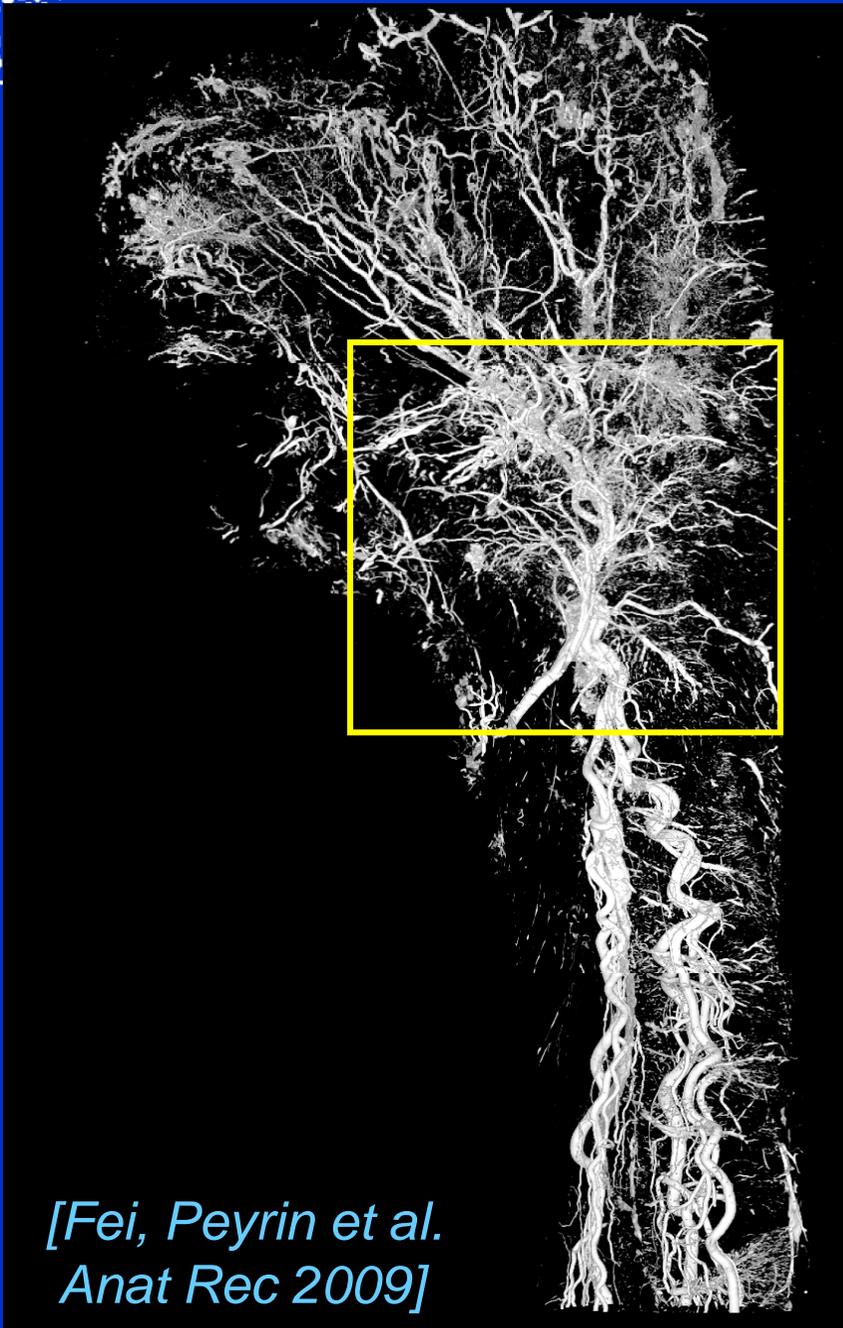
[Martin-Badosa et al., 2003, *CMIG*]

B6

# μ-VASCULARIZATION

Voxel : 2.8 μm

- ◆ Tibia de rat decalcifié
- ◆ ~ 4mm /scan, 6 scans

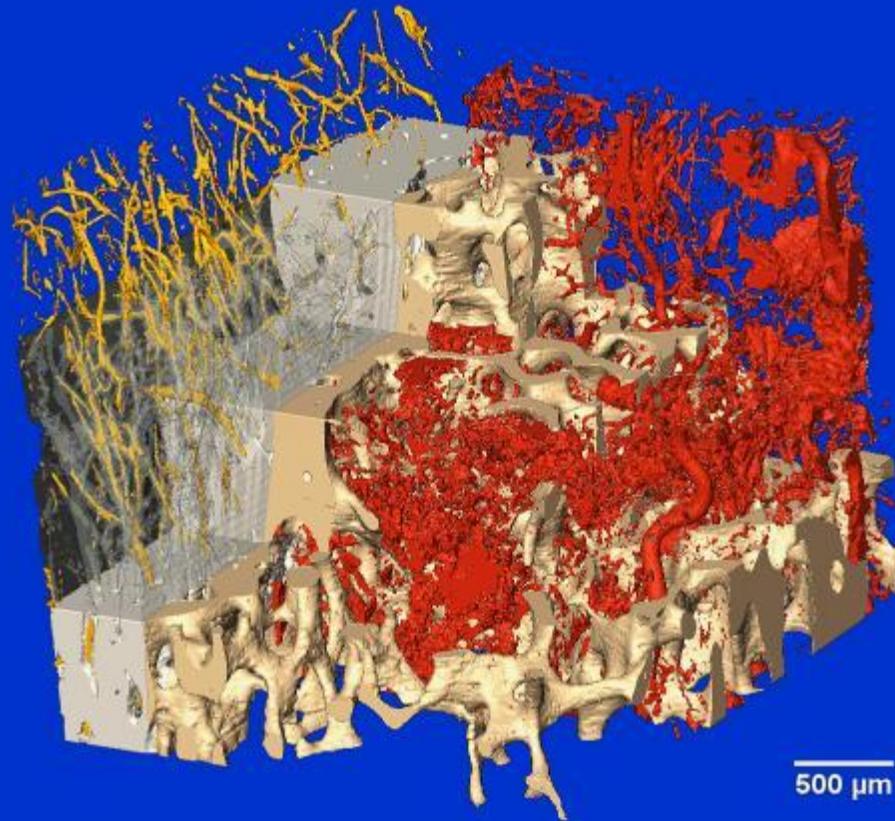


*[Fei, Peyrin et al.  
Anat Rec 2009]*

*Coll. LBTO, INSERM U890,  
Univ Lyon, St-Etienne, France*

# MODELE ANIMAL : $\mu$ structure osseuse

Voxel : 2.8  $\mu$ m

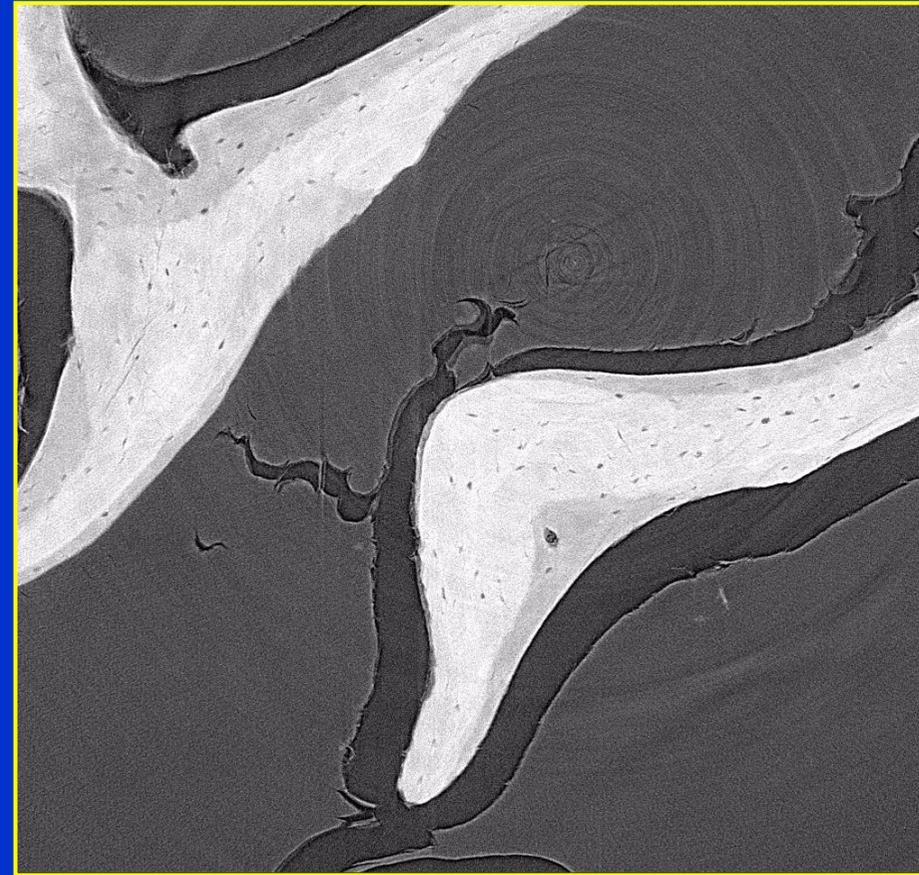
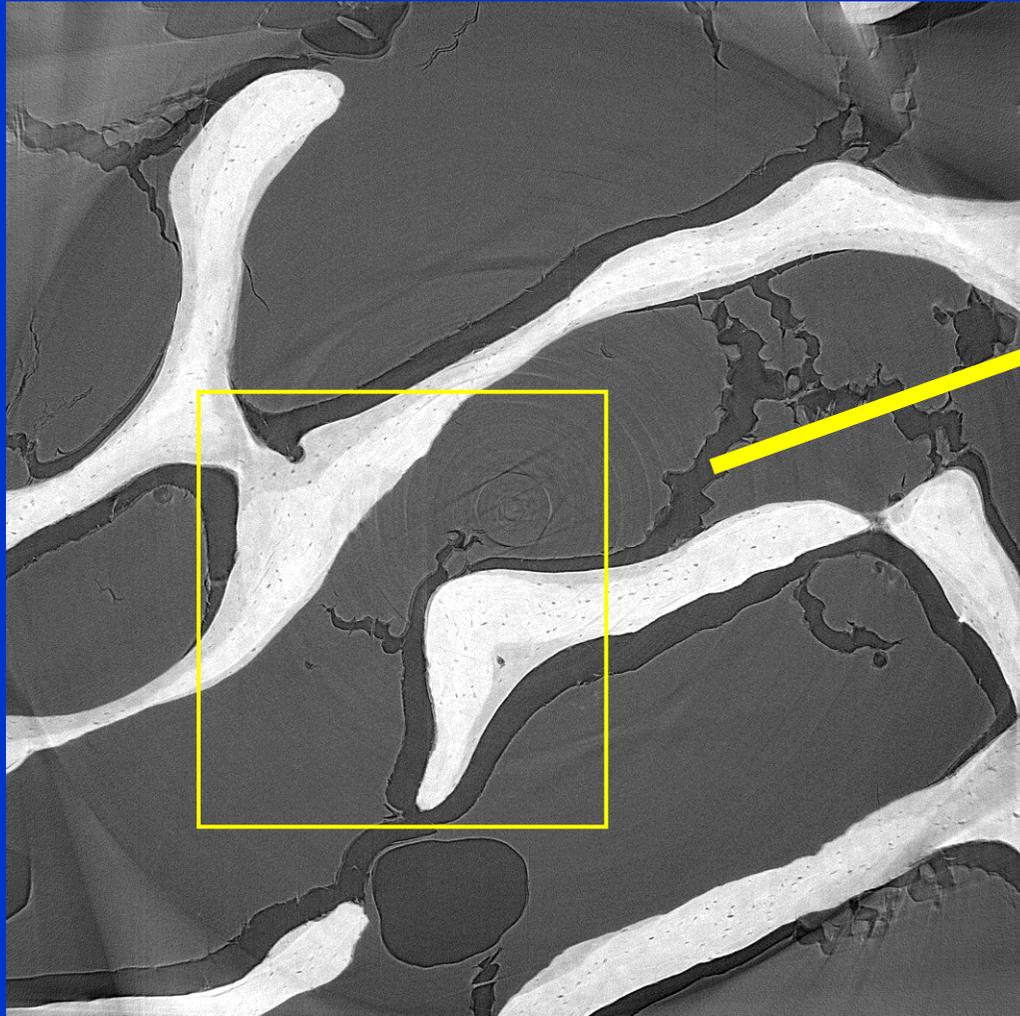


[Langer et al., IEEE TNS, 2011]

◆ [vessels\\_rfc9\\_tif.avi](#)

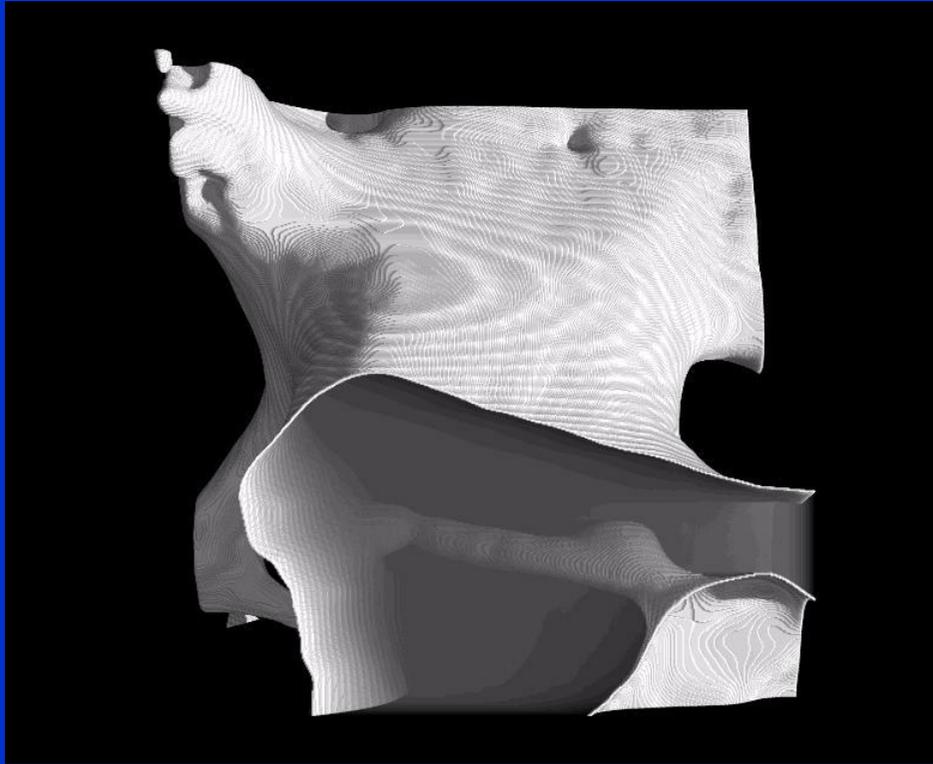
# OS HUMAIN : MICRO-FISSURES

Voxel : 1.4 $\mu$ m

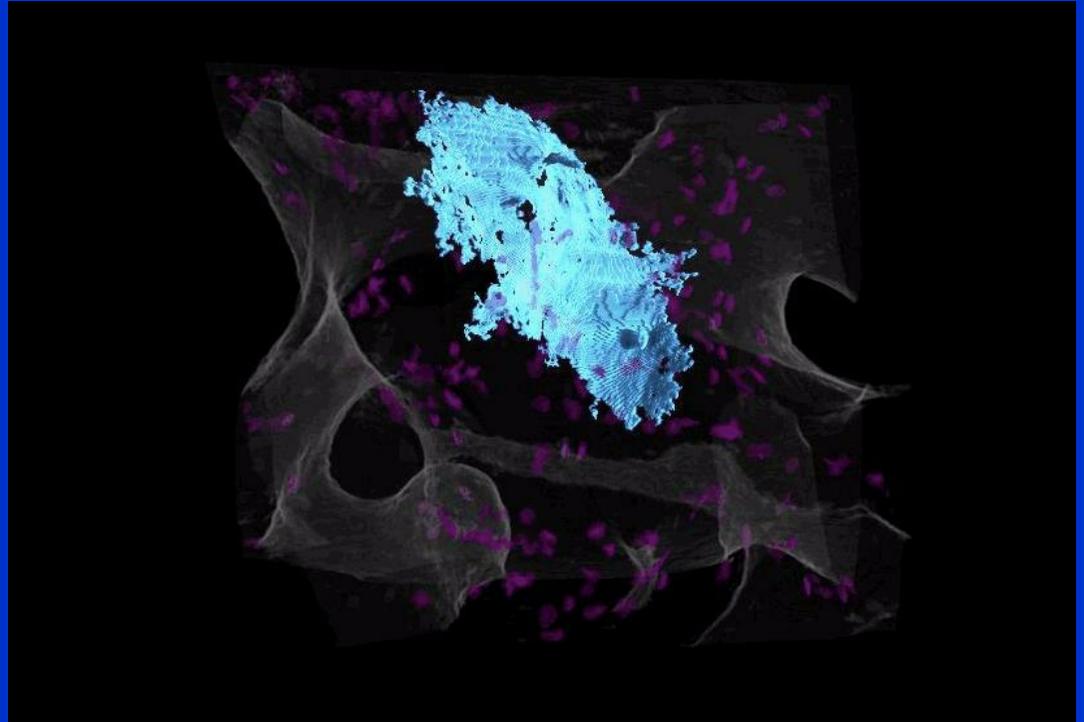


# OS HUMAIN : MICRO-FISSURES

Voxel : 1.4 $\mu$ m



Surface osseuse

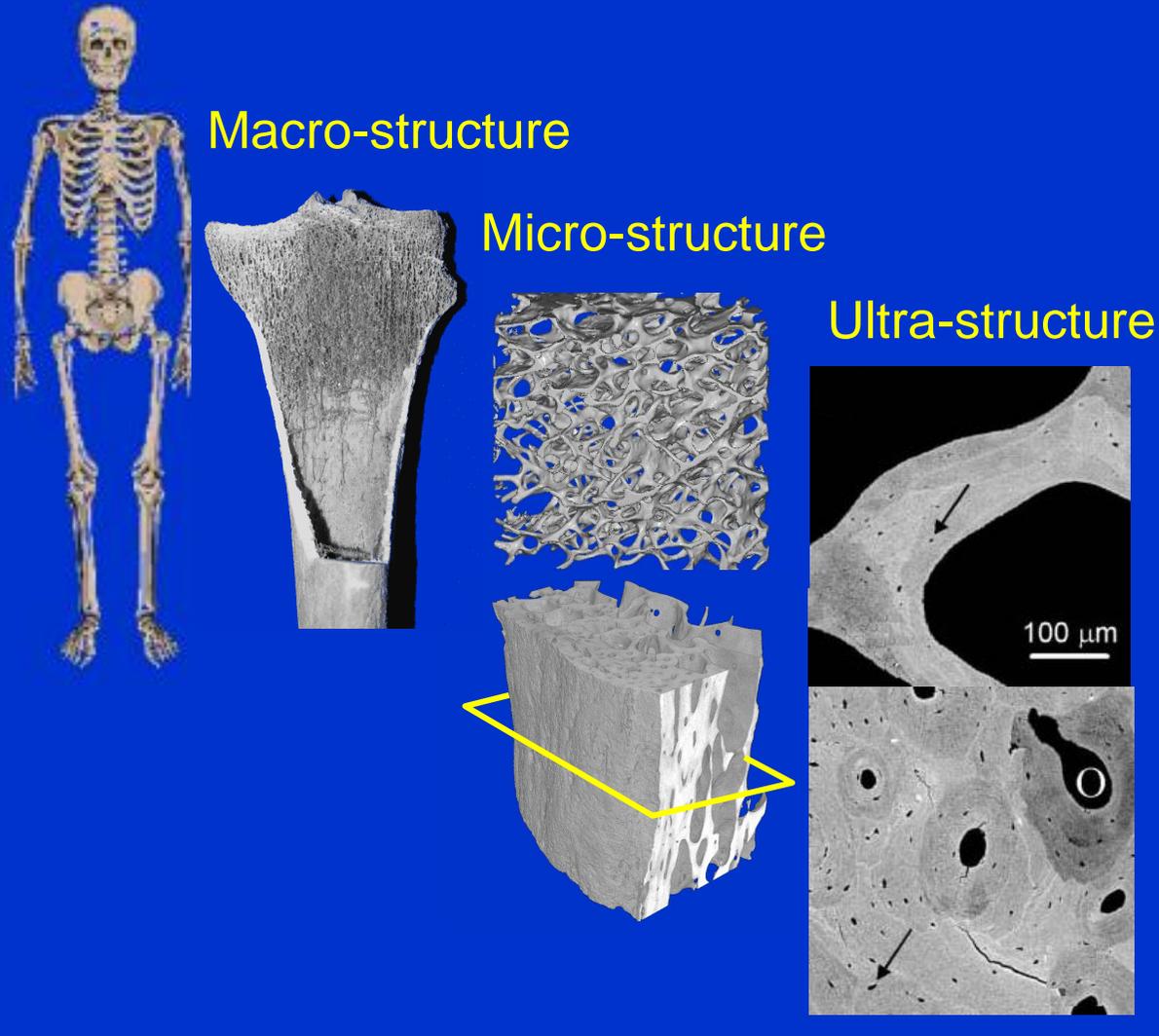


Après traitement des images :  
Os, **Lacunae**,  $\mu$ -fissures

[Larrue et al., accepté PlosOne, 2011]

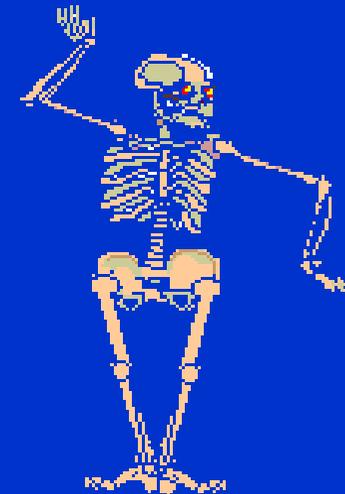
# De la CT à la nano-CT 3D

## ◆ Différentes échelles



◆ Perspectives : Vers une imagerie cellulaire 3D par nano CT (<300 nm)

- Important pour connaître les modifications avec l'âge, la maladie, les traitements
- Et pour mieux comprendre la biomécanique osseuse et le risque de fragilité



# Remerciements

## ◆ Creatis

- AM Label Jeantet
- R Goutte
- C Odet
- C Muller
- A Elmoutaouakkil
- E Martin Badosa
- S Nuzzo
- A Bonnassie
- L Apostol
- Z Peter
- A Larrue
- M Langer
- A Pacureanu
- P Dong
- ...

## ◆ ESRF

- J Baruchel
- P Cloetens
- M Salomé
- E Boller
- ...

## ◆ Collaborateurs

- C Alexandre
- MH Lafage-Proust
- L Vico
- P Meunier
- P Laugier
- C Chappard
- CH Benhamou
- V Bousson
- .....