

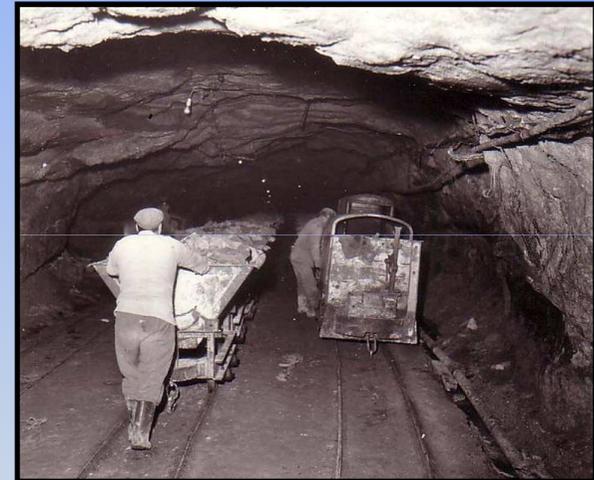
Journée thématique calculs/simulations CEMHTI

Microtomographie X, caractérisation de géomatériaux et simulation de phénomènes physico-chimiques.

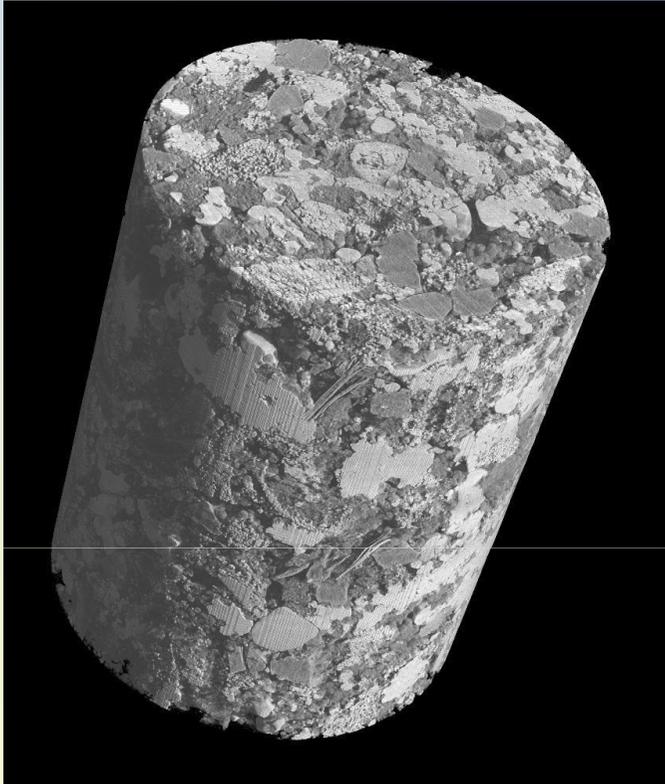
Applications aux pierres, aux sols et autres matériaux de mauvaise volonté.



Olivier Rozenbaum



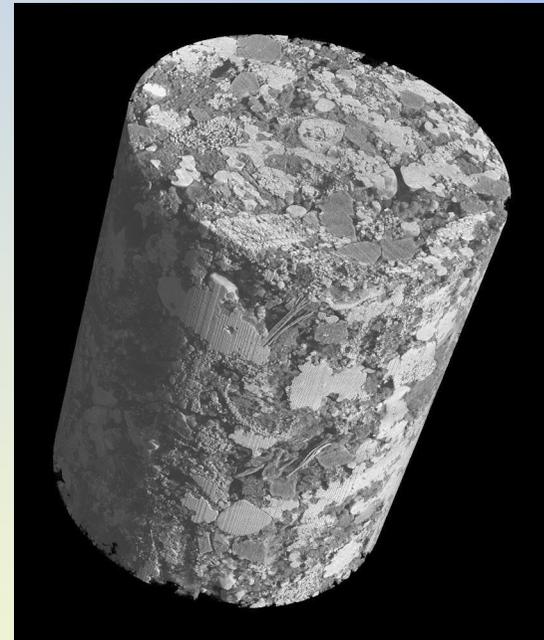
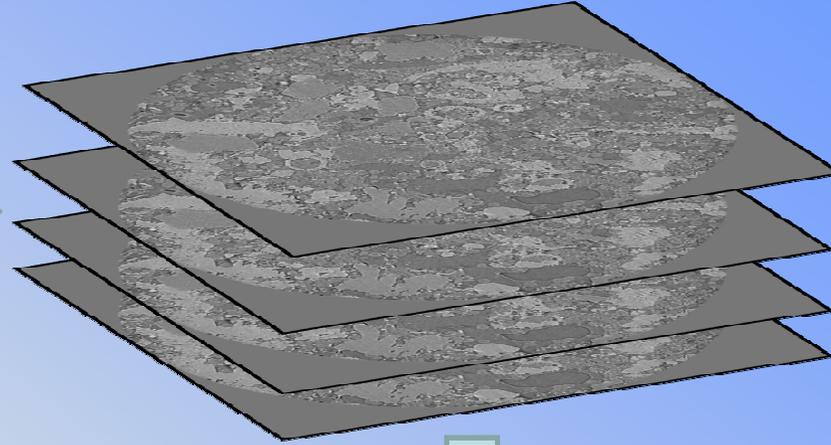
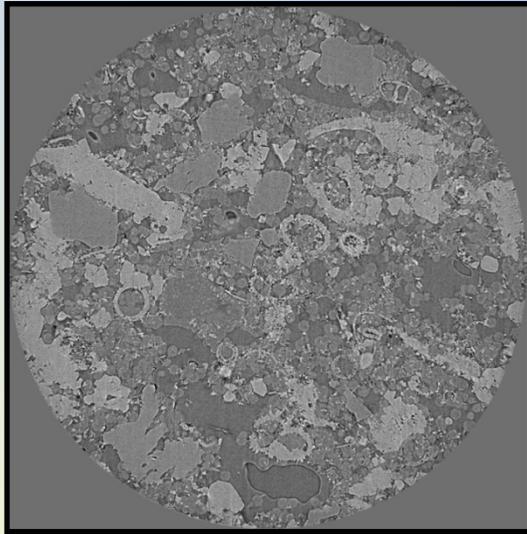
Microtomographie X: principes



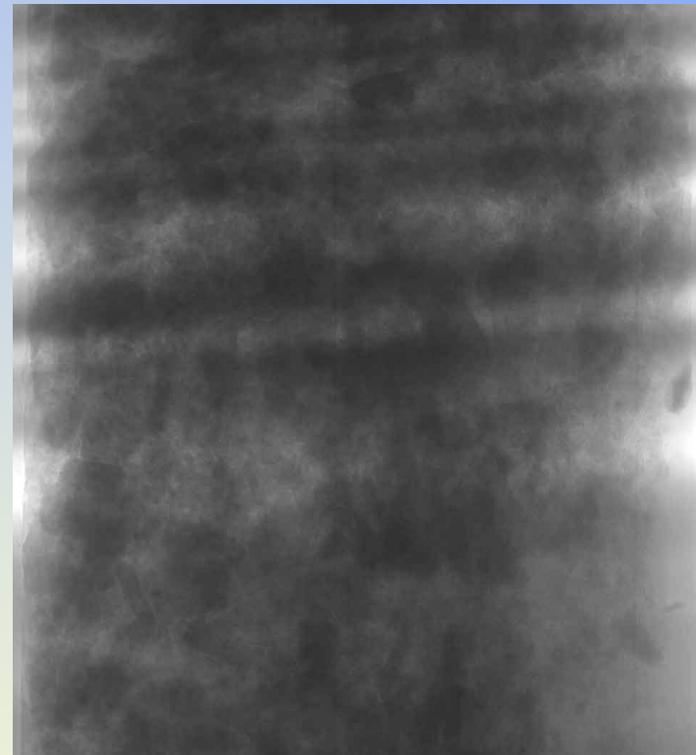
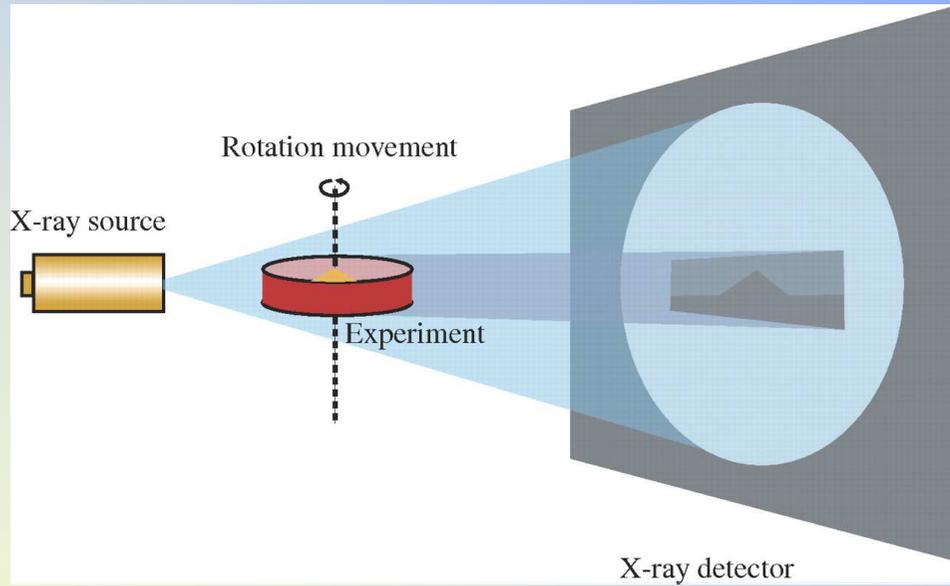
- Tomographie par **absorption** de rayons X.
- Technique d'imagerie 3D non destructive.
- Détermination de la «microstructure» de l'échantillon.
- Image en niveau de gris dépendant directement des coefficients d'absorption μ du matériau traversé par un faisceau de RX.
- Coefficient d'absorption fonction de :
 - la densité des constituants,
 - la composition chimique.

$$\mu(\vec{r}) \equiv \rho(\vec{r}) \frac{Z^4}{E^3}$$

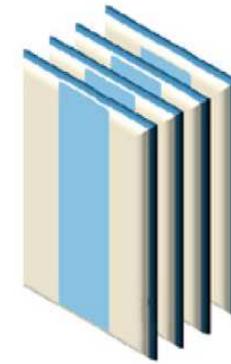
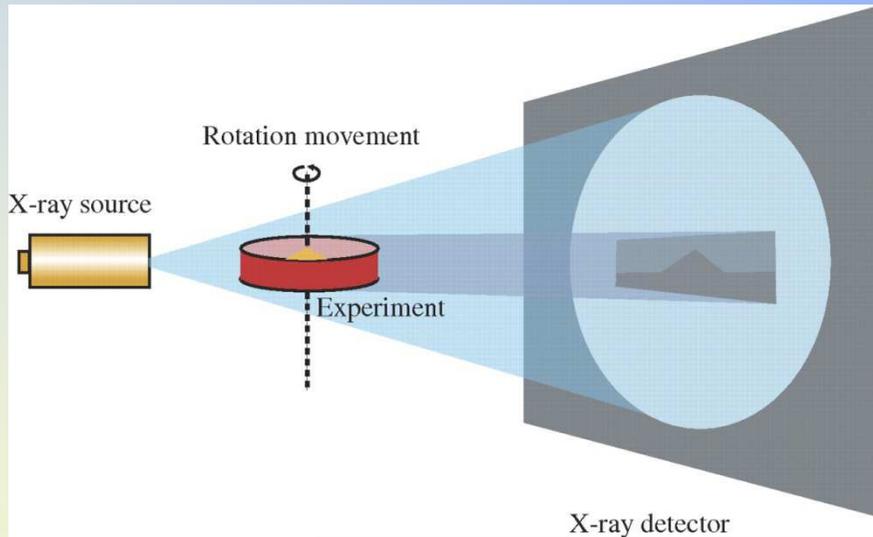
Microtomographie X: principes



Microtomographie X: principes



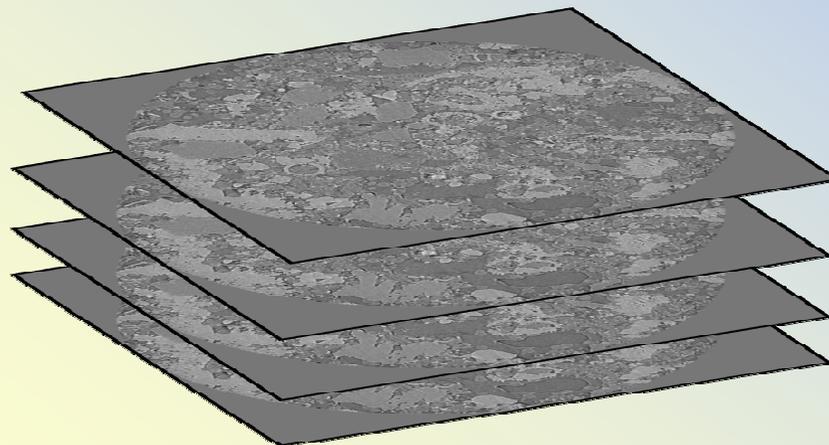
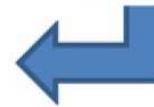
Microtomographie X: principes



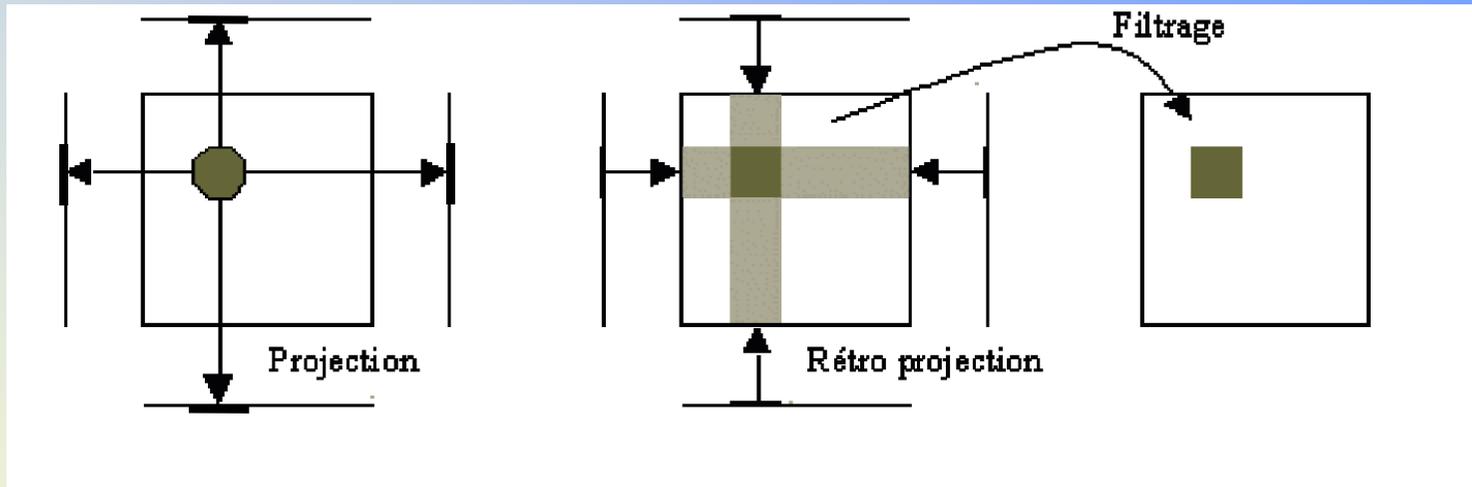
projections



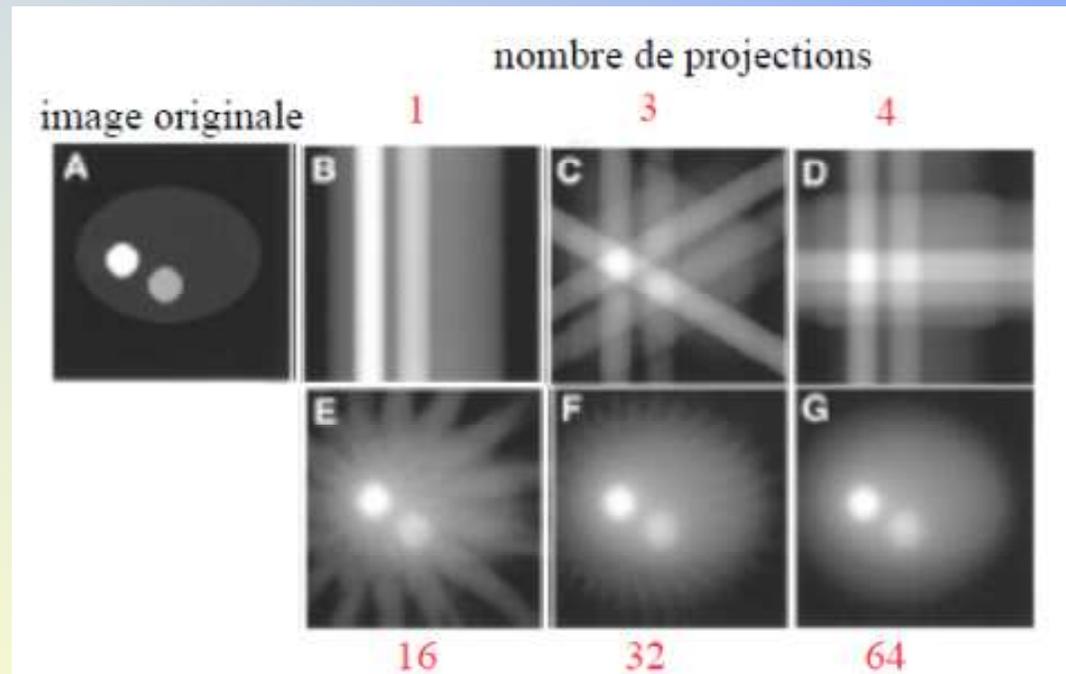
Rétroprojection
filtrée



Microtomographie X: principes

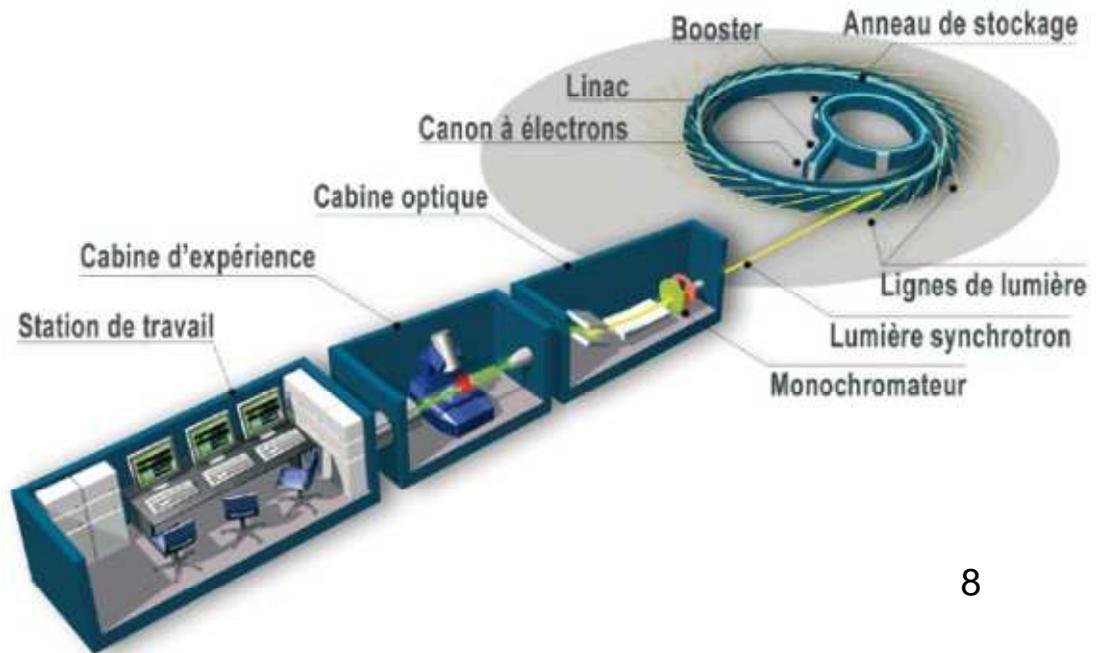


Retroprojection filtrée



Microtomographie X: dispositifs experimentaux





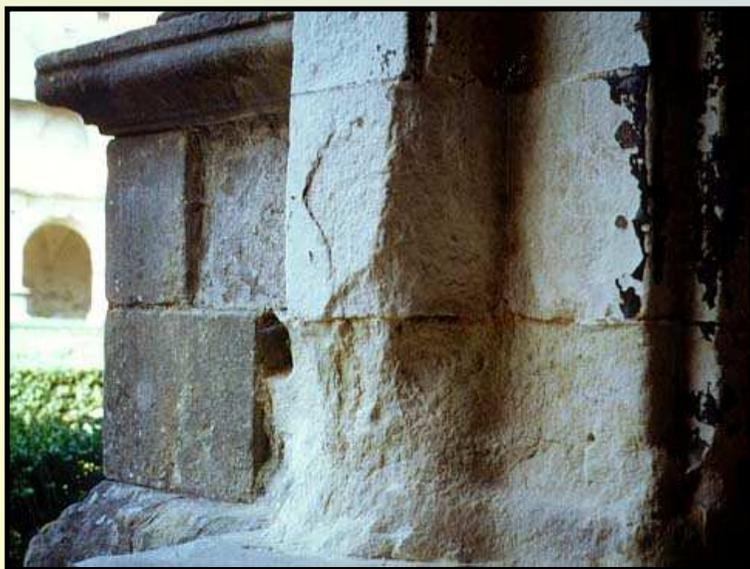
Microtomographie X: application aux pierres du patrimoine bâti



Altération en plaques



Croûtes et encroûtements noirs

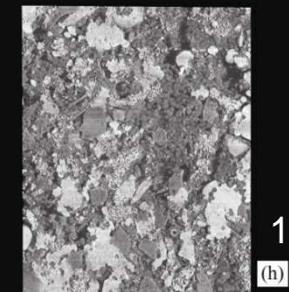
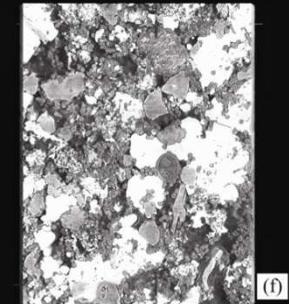
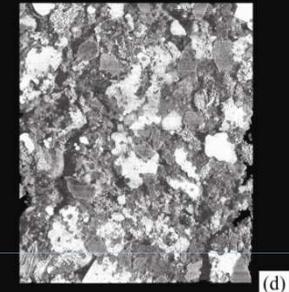
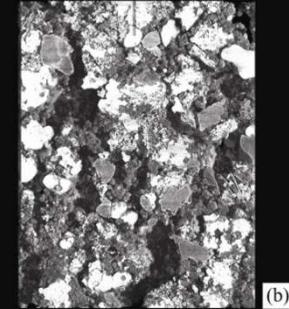
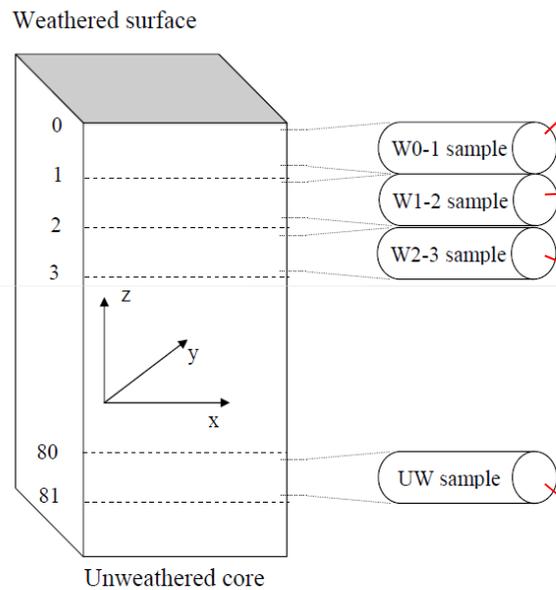


Désagrégation sableuse



Alvéolisation

Microtomographie X: application aux pierres du patrimoine bâti

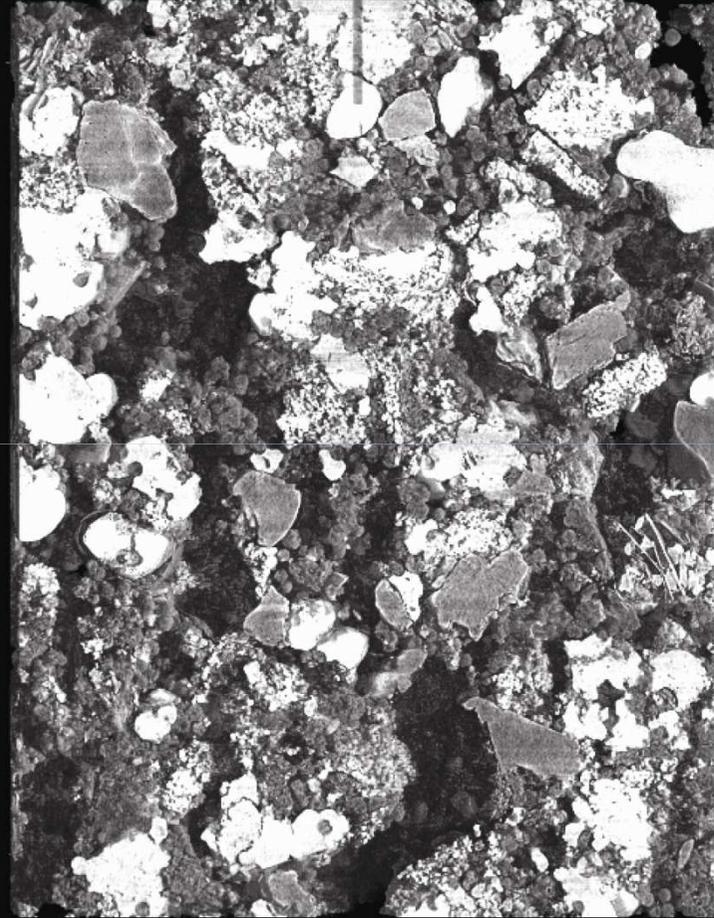


580 μm de diamètre
Voxel size: 0.7 μm

W0-1



(a)

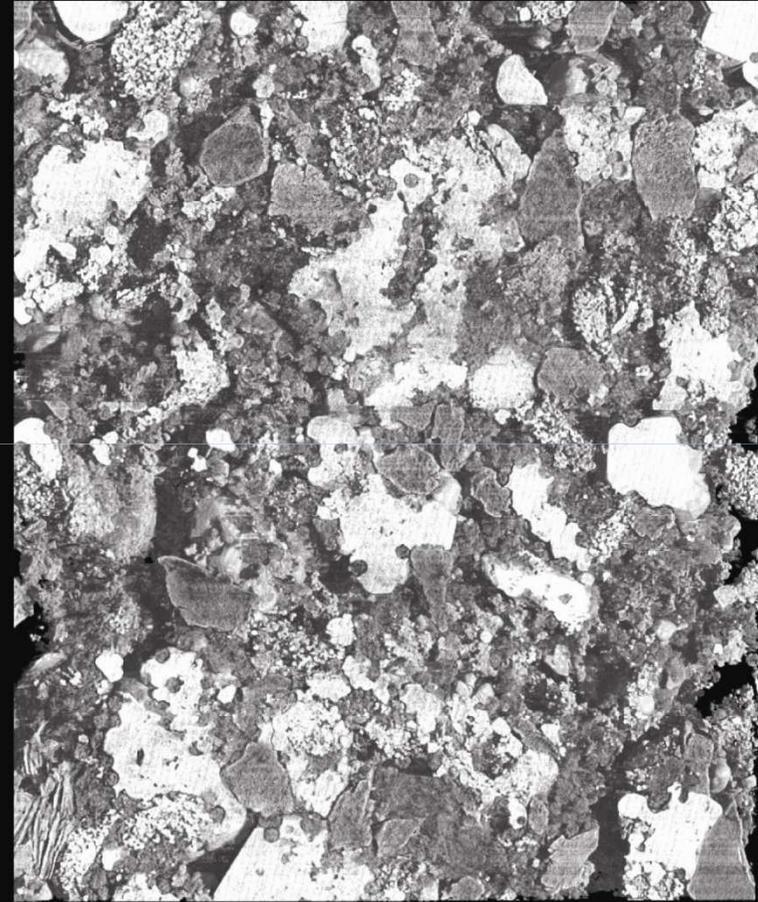


(b)

W1-2



(c)

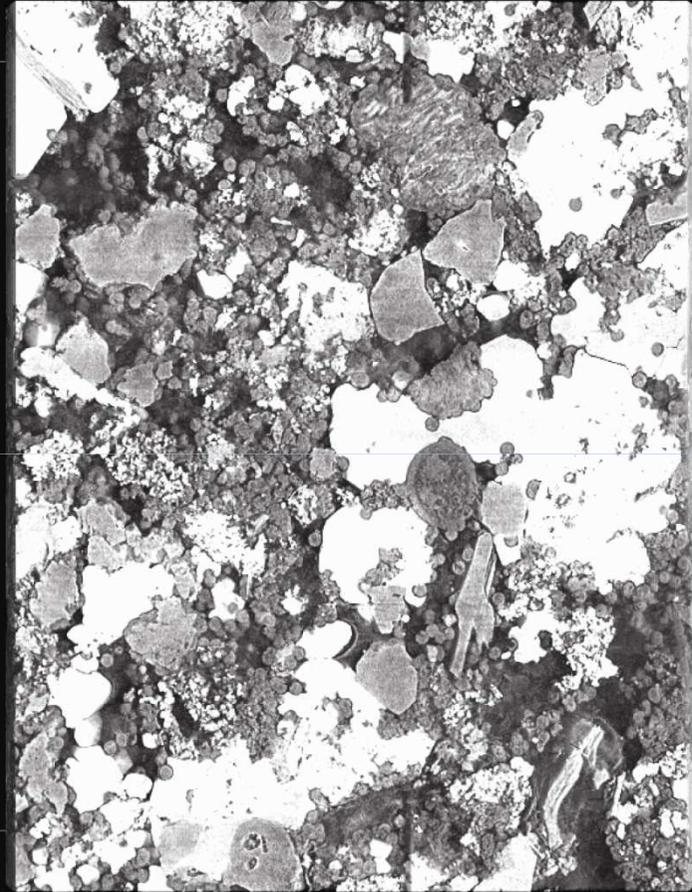


(d)

W2-3



(e)



(f)

UW



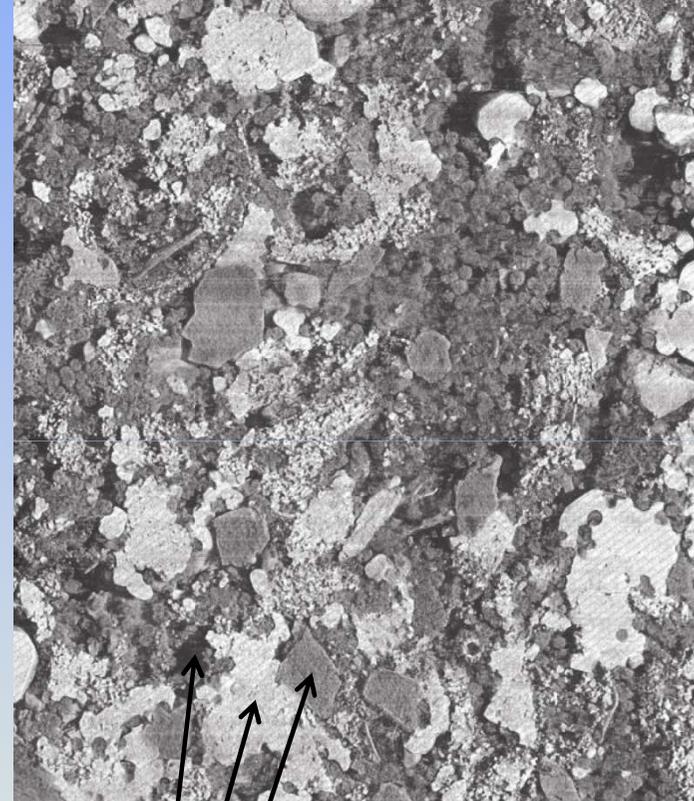
(g)



(h)

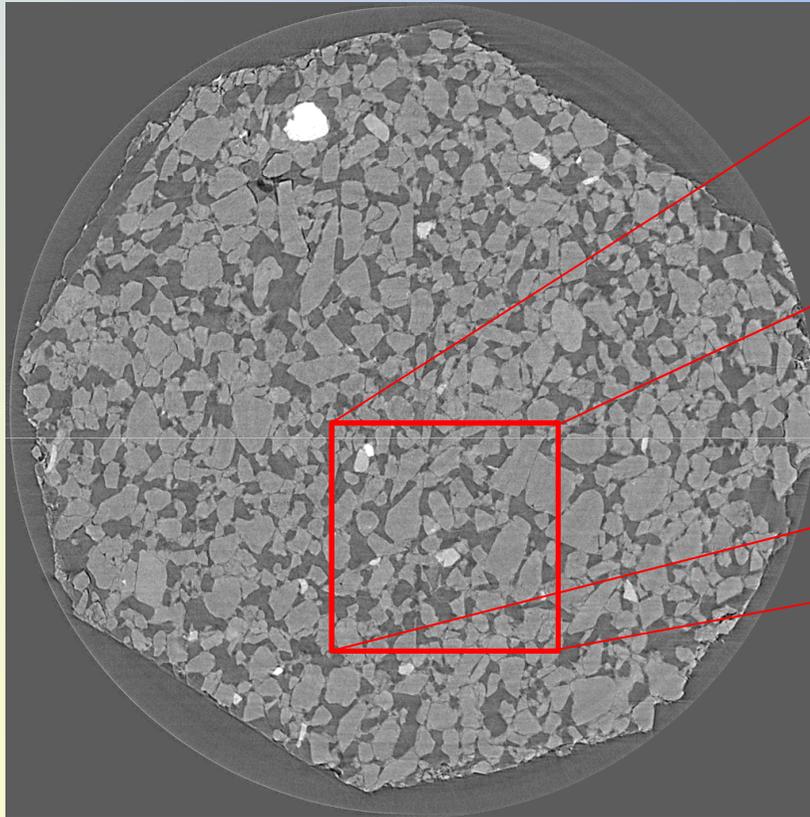
Quantification d'une image 3D

- ❖ Quantification des différentes phases ??
- ❖ Distinguer chacune des phases
⇔ problématique de la segmentation

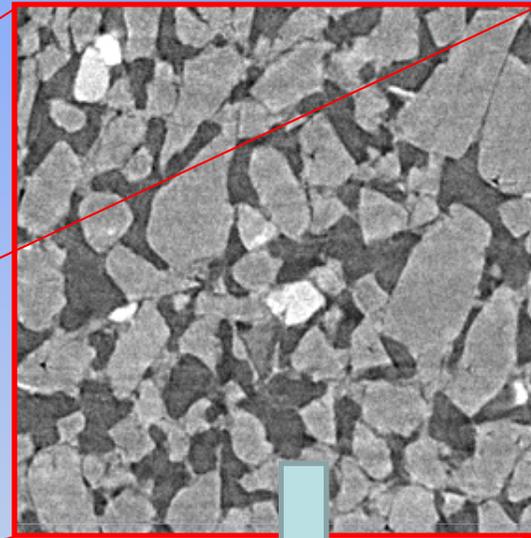


Quantités ?
Reparties comment dans l'espace ?

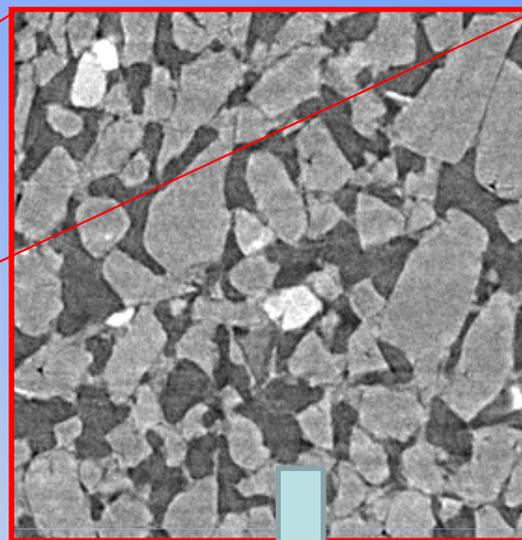
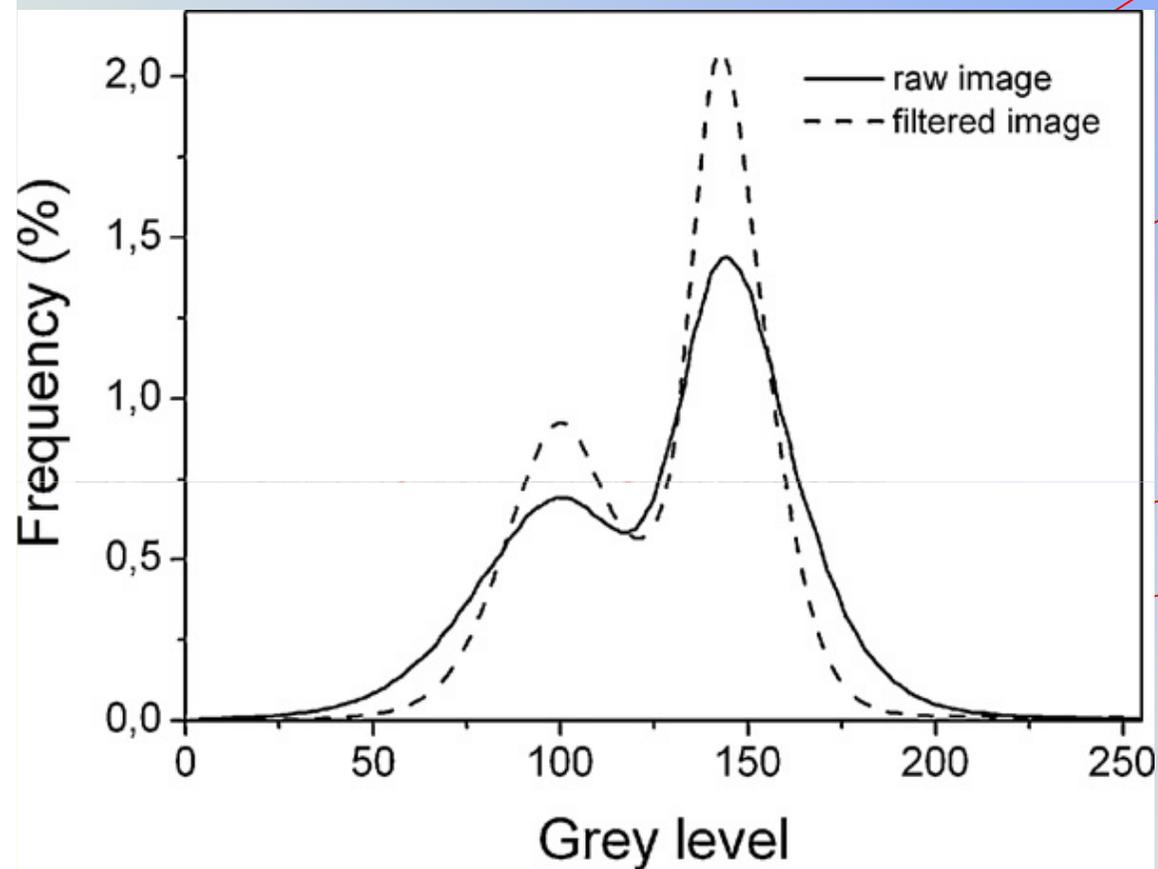
Problématique de la segmentation



Agrégat de sol

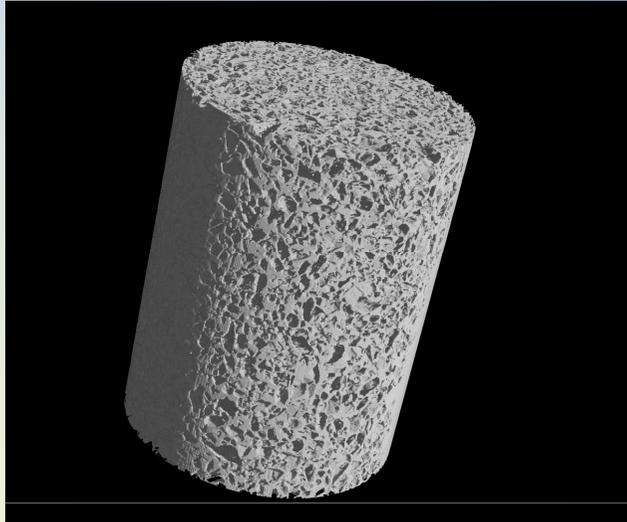


Problématique de la segmentation

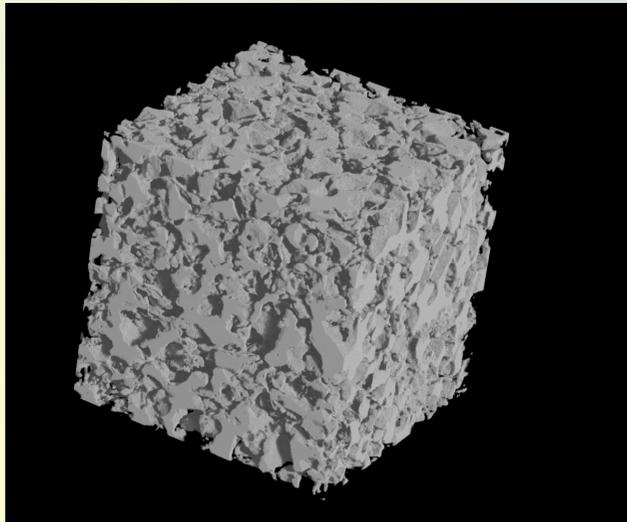
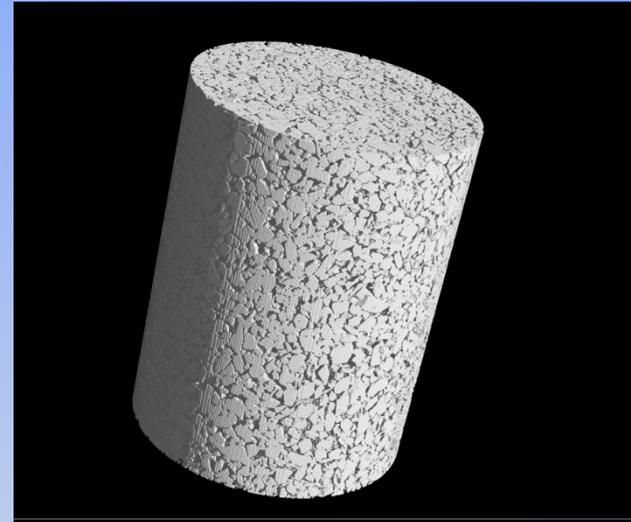


Agrégat de sol

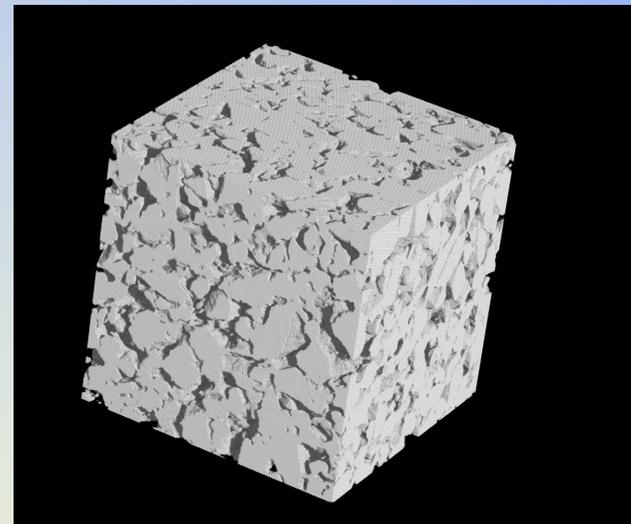
Problématique de la segmentation



$h = 720 \mu\text{m}$
 $\varnothing = 600 \mu\text{m}$



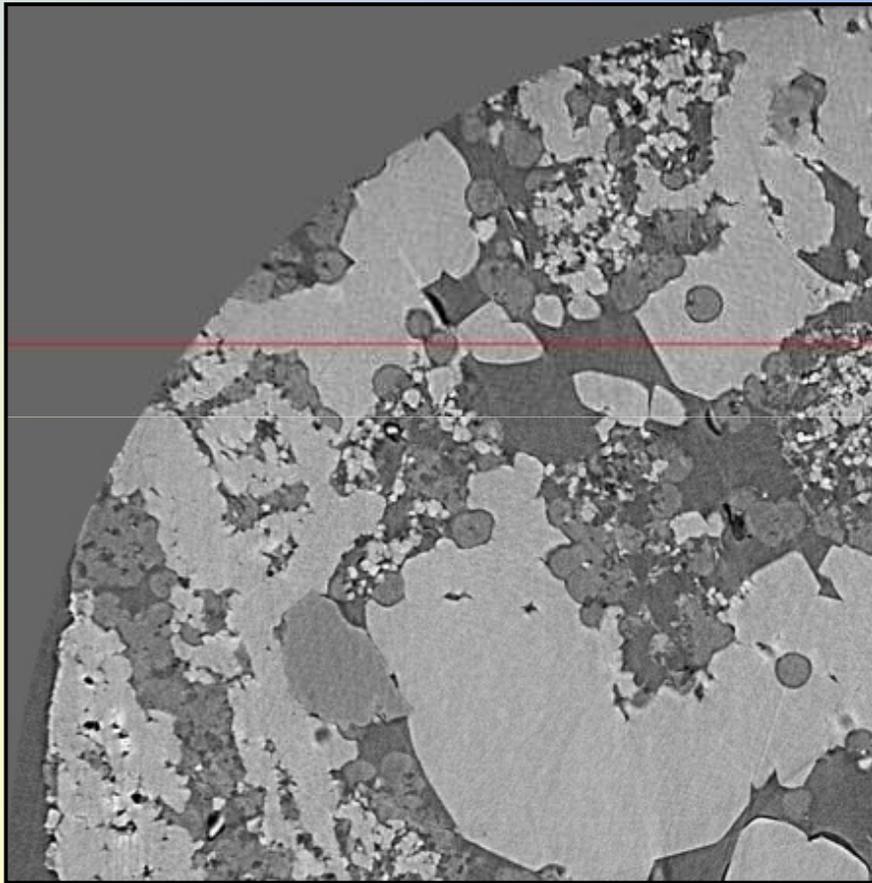
$a = 140 \mu\text{m}$



Pore

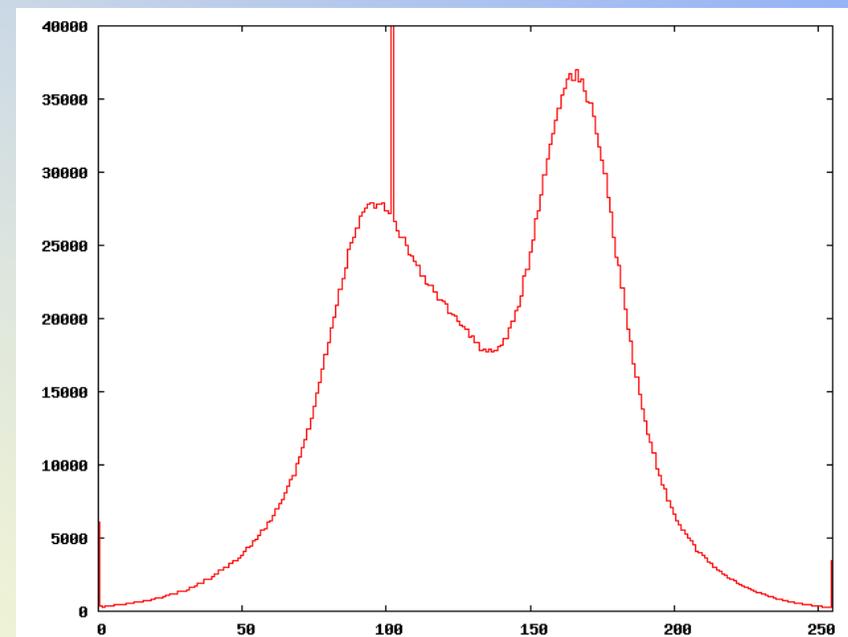
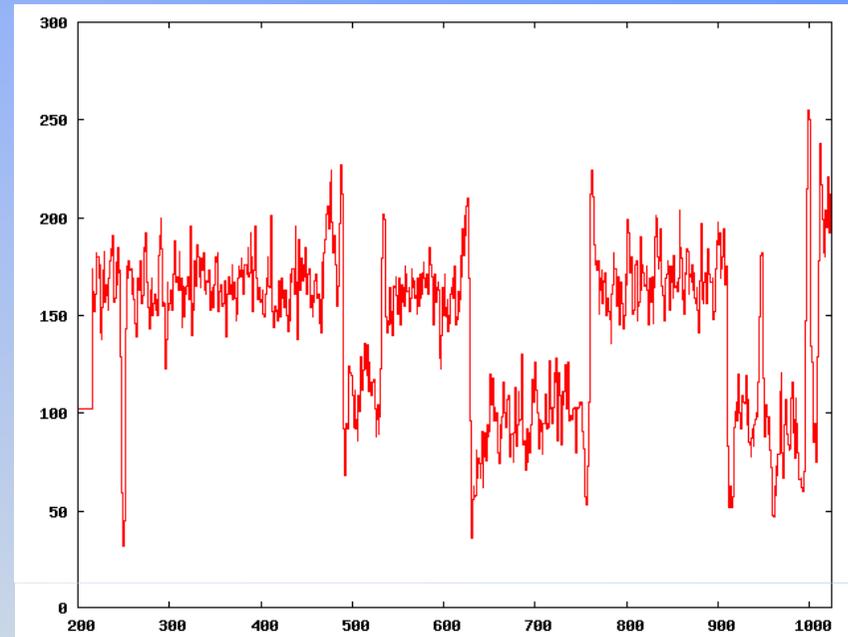
Solide

Segmentation des images: morphologie mathématique



Voxel size: 0.28 μm

Coupe d'un échantillon de tuffeau
Éprouvette de 700 μm de diamètre



Segmentation des images: morphologie mathématique

Emmanuel Le Trong

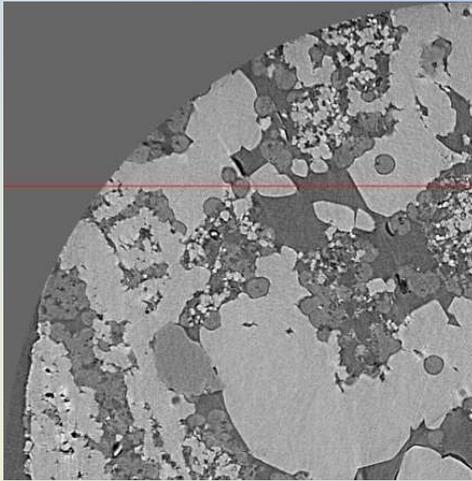
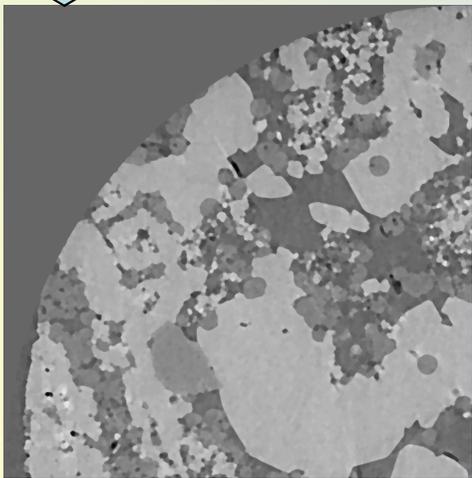
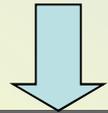
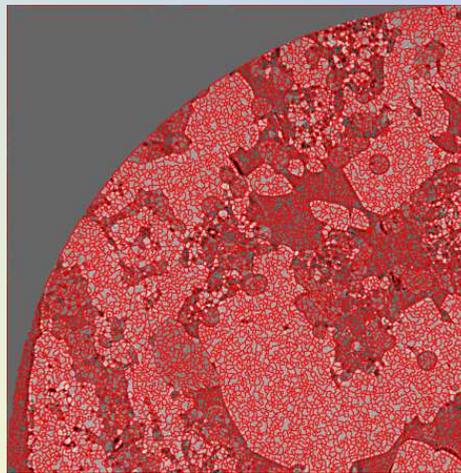
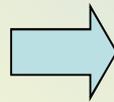


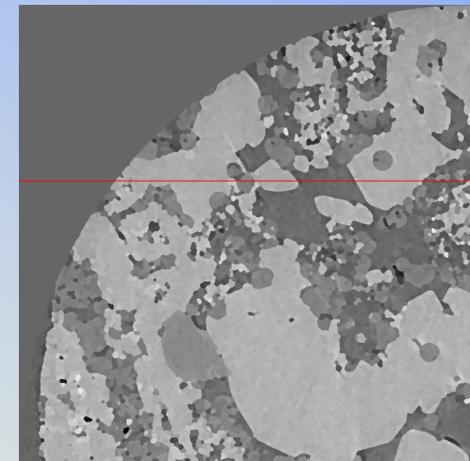
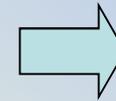
Image d'origine



Filtre alterné séquentiel (3)
Diminuer le bruit

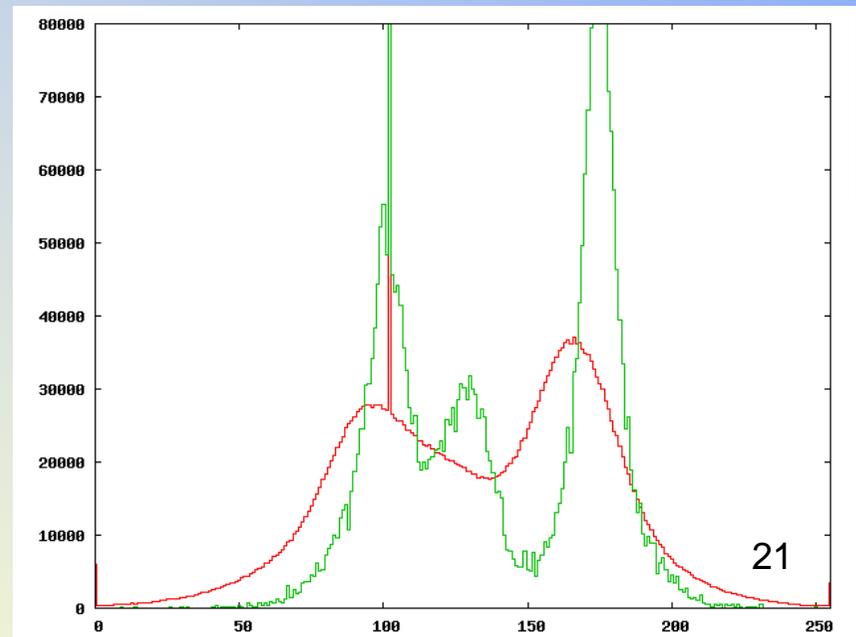
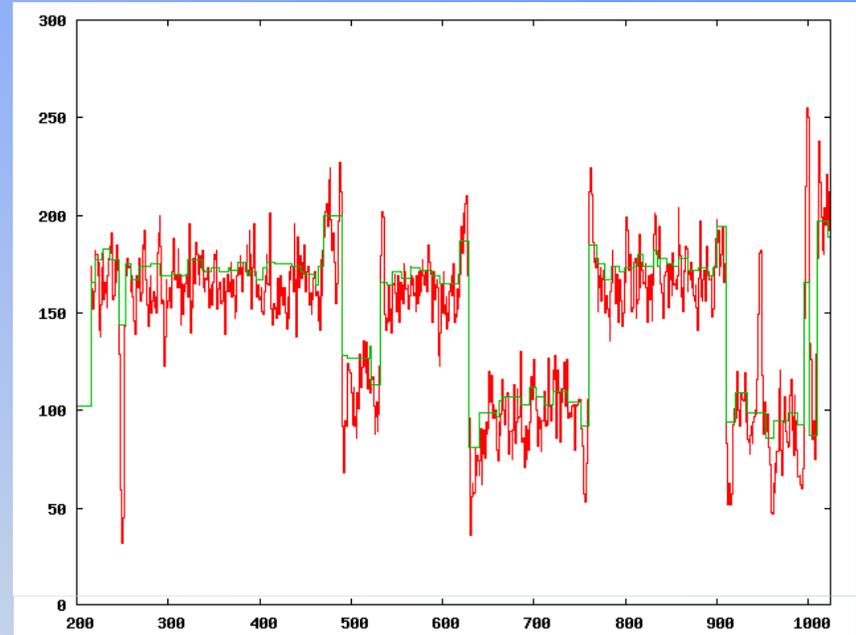
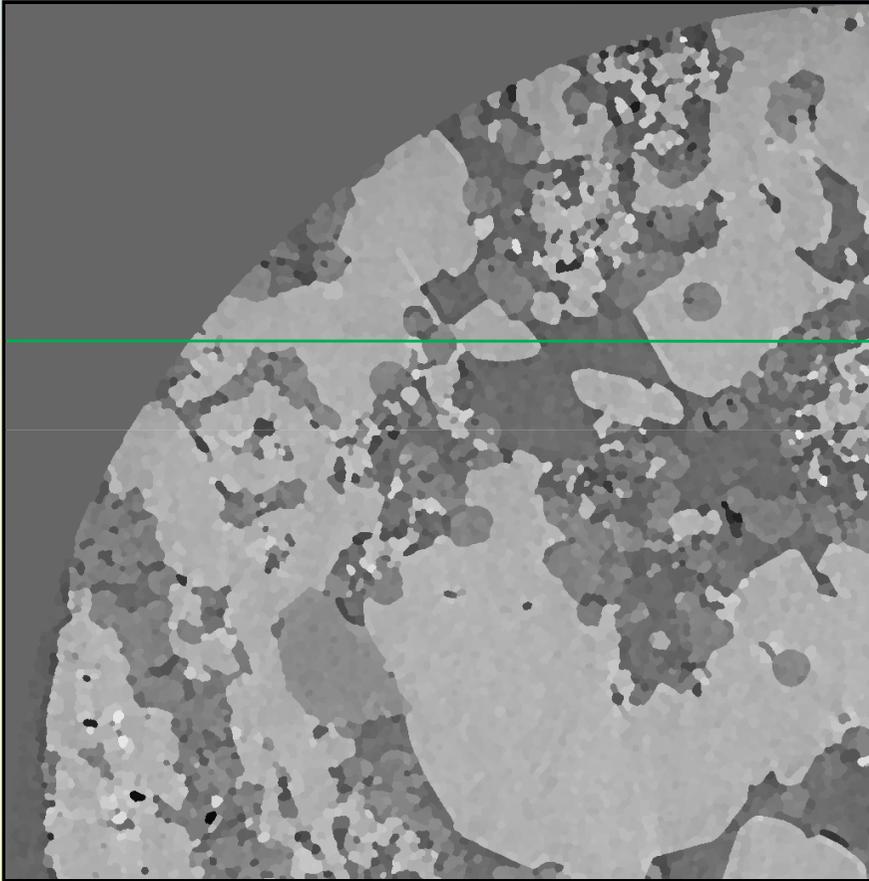


Ligne de partage des eaux
Extraire les limites des phases
(extraction des minimas
et de leur zone d'influence)

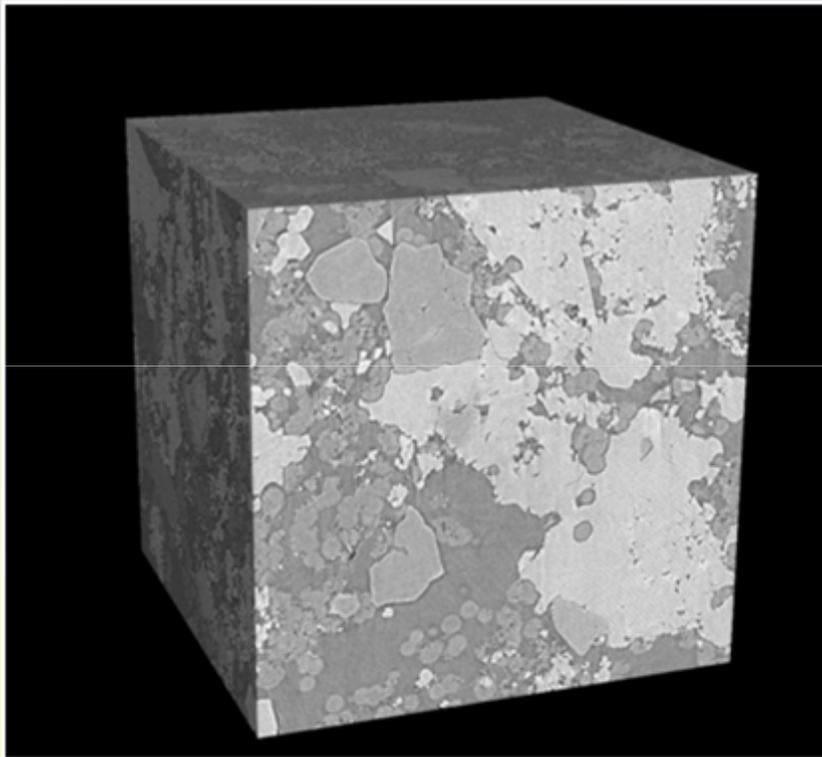


Mosaïque
Simplifier l'image
(affecter les minimas
à leur zone d'influence)

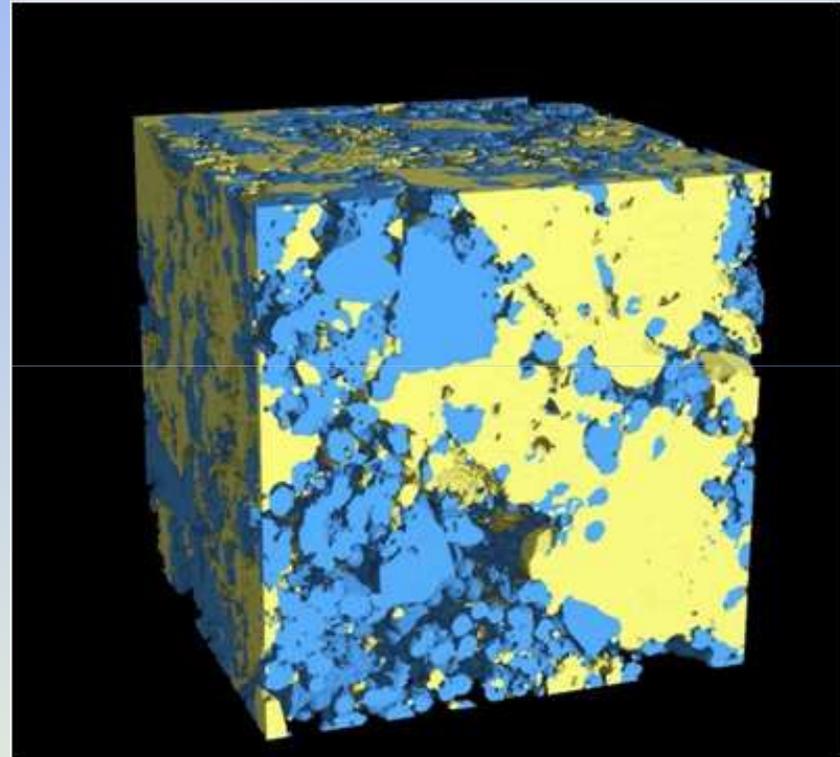
Segmentation des images: morphologie mathématique



Segmentation des images: morphologie mathématique



Voxel size: 0.28 μm



Le Trong *et al.*, 2008

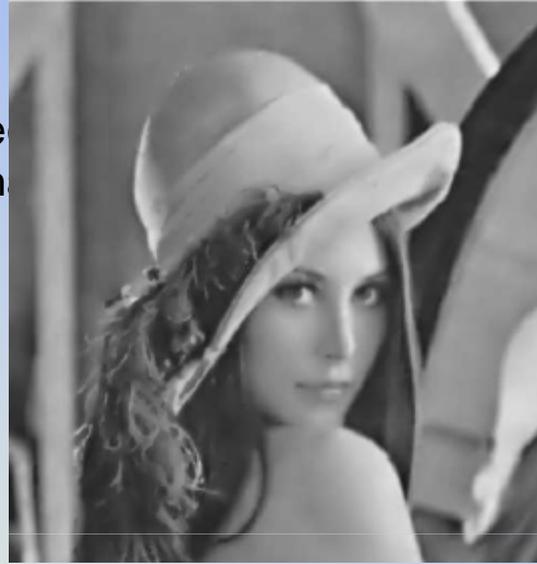
Segmentation des images: méthode variationnelle

Maïtine Bergounioux
MAPMO



Image bruitée

Dé
Ch



Composante $u+v$ (débruitée)

3 composantes.
propriété de l'image de départ.



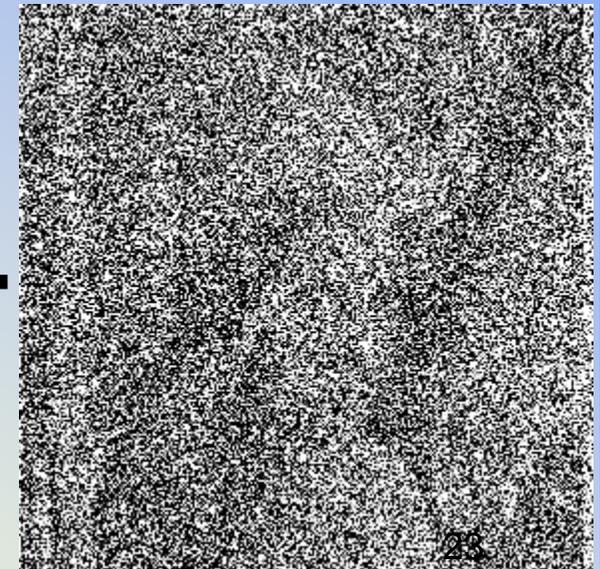
Composante u (contours)

+



Composante v (parties régulières)

+



Composante w (bruit)

Segmentation des images: méthode variationnelle

Maïtine Bergounioux
MAPMO

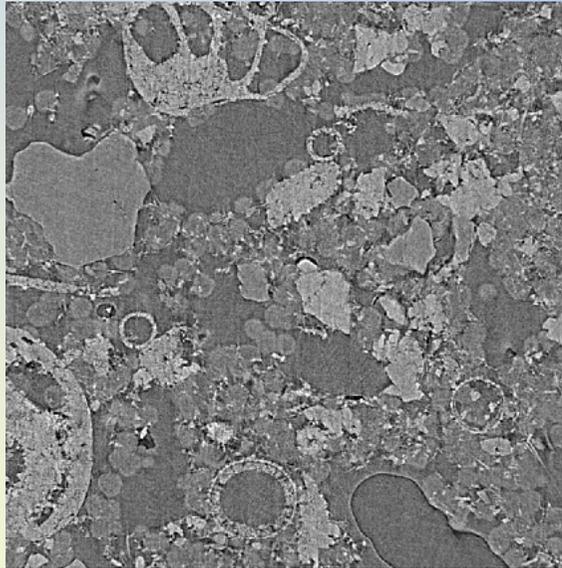
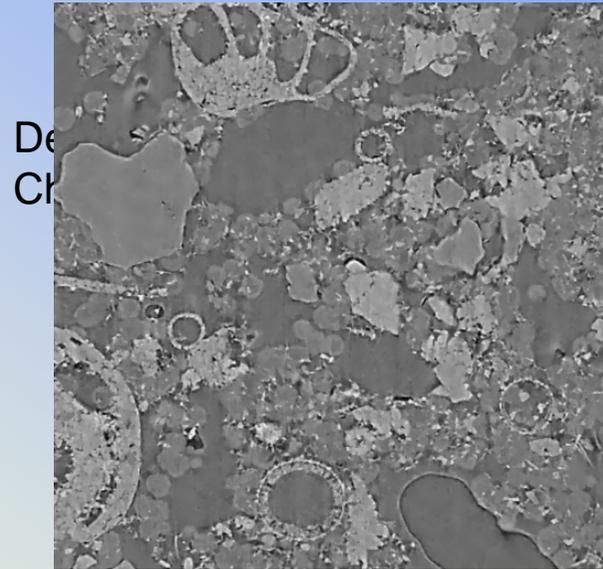
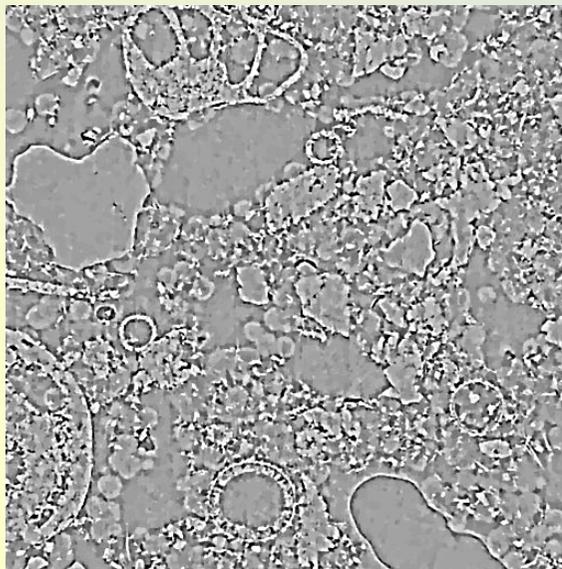


Image bruitée



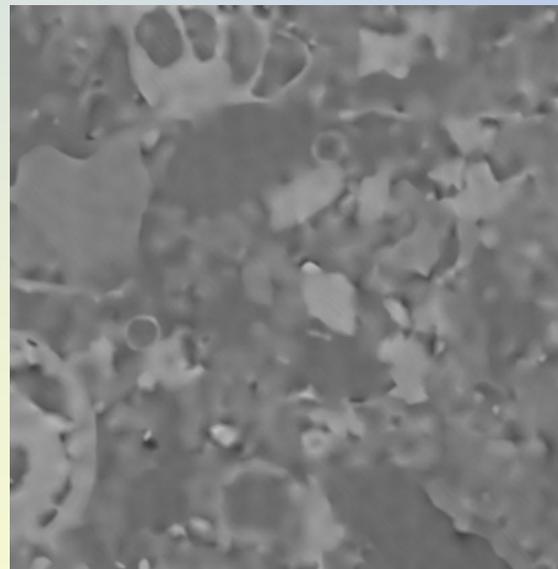
Composante $u+v$ (débruitée)

Débruitage par la méthode variationnelle.
Chaque image est représentée par 3 composantes.
La méthode préserve la propriété de l'image de départ.



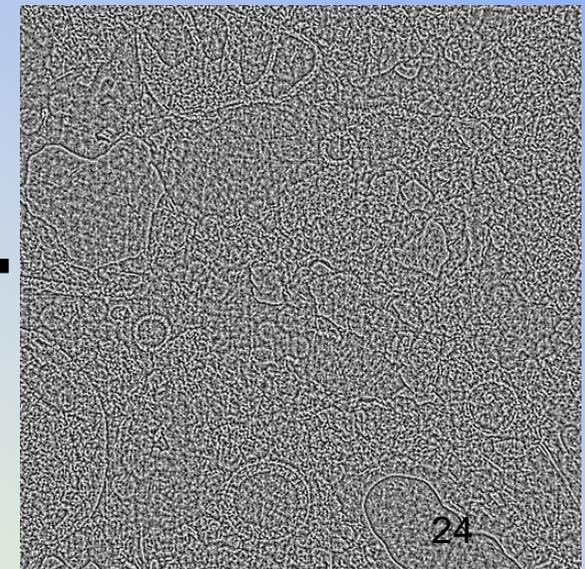
Composante u (contours)

+



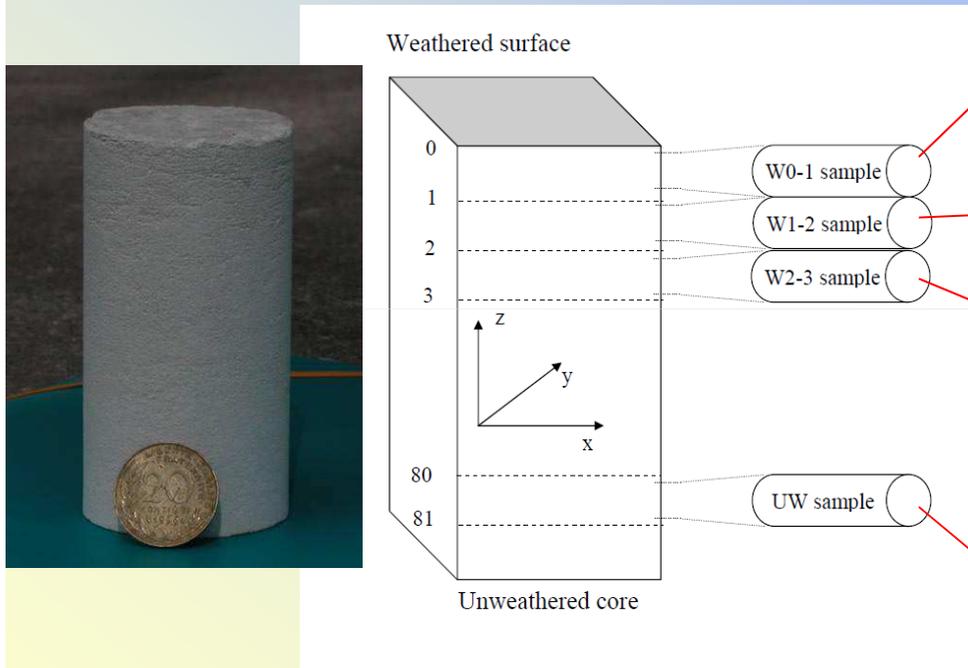
Composante v (parties régulières)

+



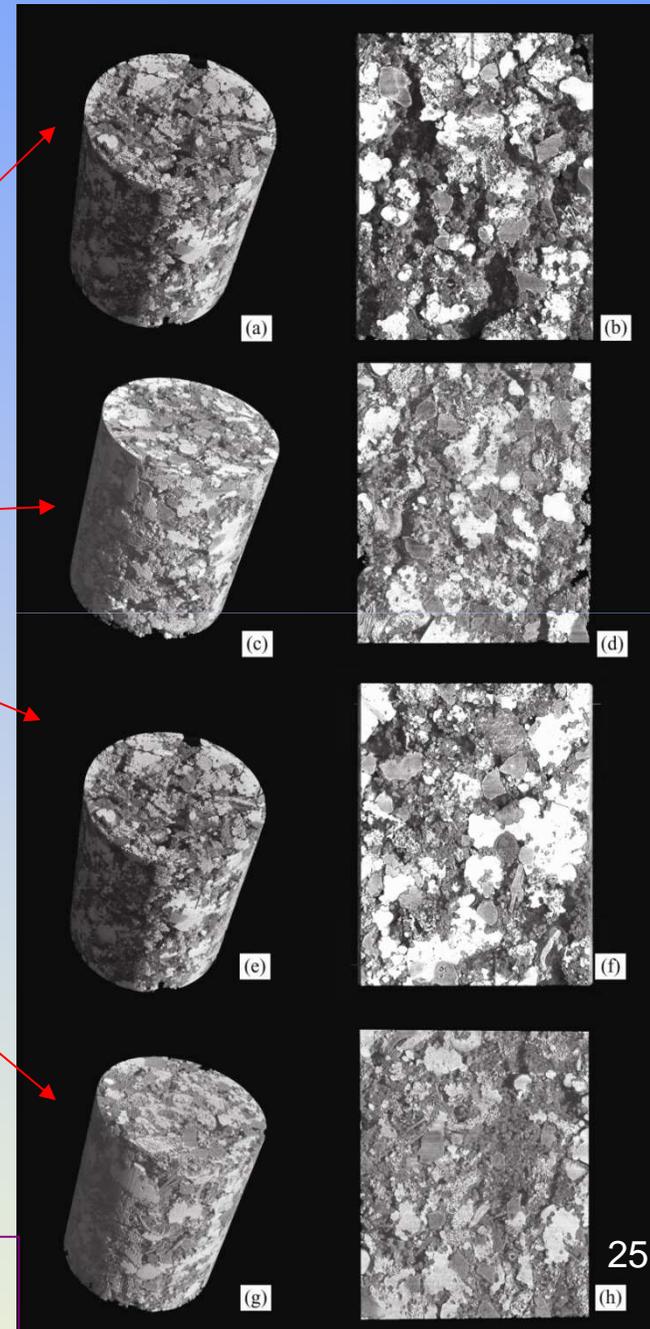
Oscillations (bruit)

Quantification des images



Rozenbaum, 2011

580 μm de diamètre
Voxel size: 0.7 μm



Quantification des images

Quantification: utilisation d'estimateurs

Fraction volumique

Sample	Volume fraction		
	Pore	Silica	Calcite
W0-1	0.467	0.347	0.185
W1-2	0.289	0.415	0.295
W2-3	0.296	0.418	0.286
UW	0.228	0.481	0.290

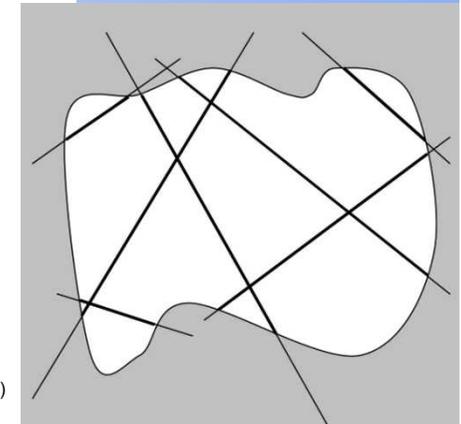
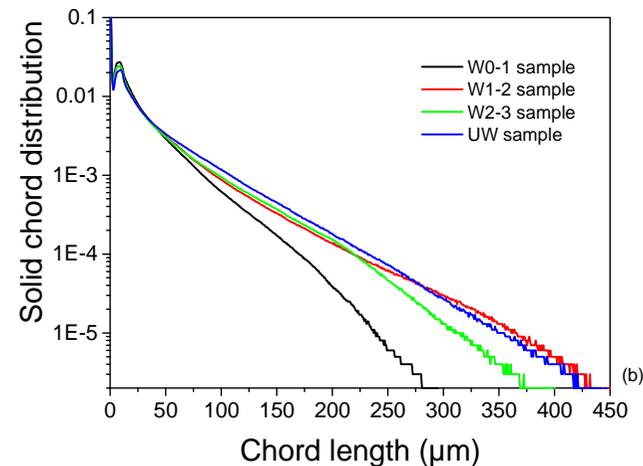
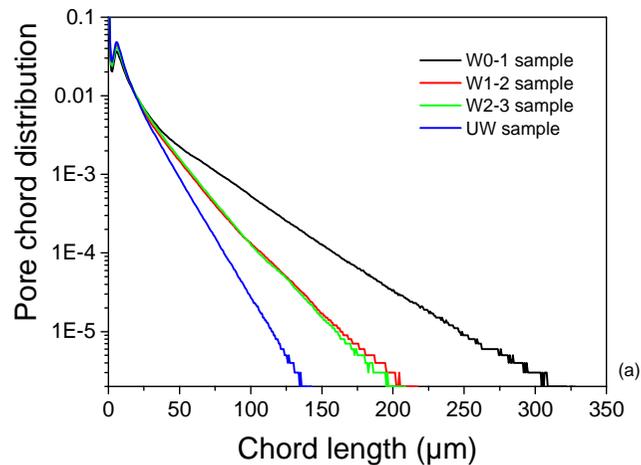
Distribution des amas (Hoshen-Kopelman)

Sample	Volume of percolating cluster			χ_v (μm^{-3})
	Pore	Silica	Calcite	
W0-1	249.10 ⁶	185.10 ⁶	37.10 ⁶	-32.10 ⁻⁶
W1-2	152.10 ⁶	222.10 ⁶	146.10 ⁶	-12.10 ⁻⁶
W2-3	156.10 ⁶	223.10 ⁶	145.10 ⁶	-22.10 ⁻⁶
UW	117.10 ⁶	258.10 ⁶	146.10 ⁶	-19.10 ⁻⁶

Total volume : 536.10⁶ voxels

Nombre d'Euler-Poincaré

Distributions de cordes: - outils de description de l'interface solide/pore
- caractérisation de certains désordres structuraux



Décroissances exponentielles: milieux aléatoires de Debye

Autres estimateurs: fonction d'autocorrélation, granulométrie, tortuosité ...

Caractérisation des images

- ❖ Utilisations de logiciels : Image J, Gimp, Blob 3D, Avizo etc...
- ❖ Création d'algorithmes « maison »

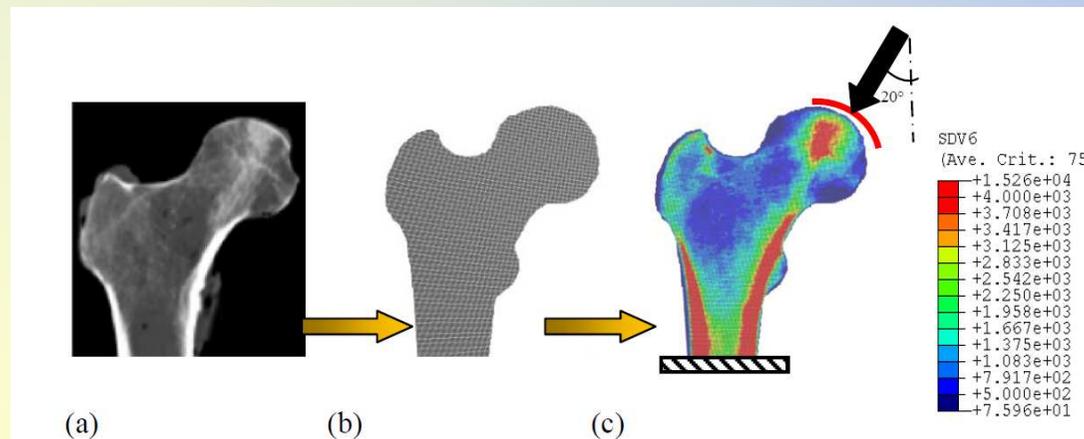
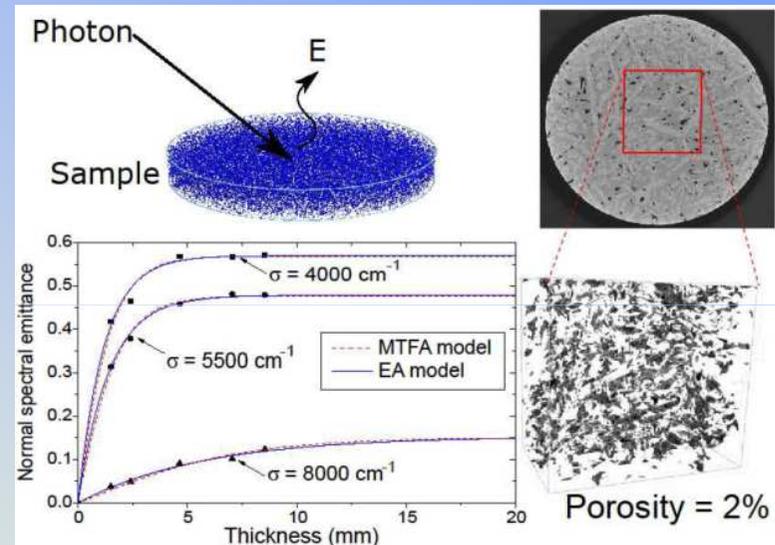
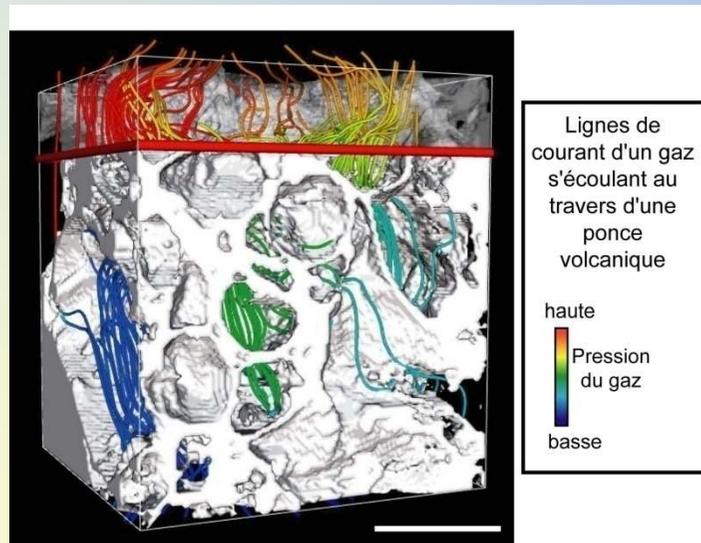
- Porosité totale
- Surface spécifique
- Fonction d'autocorrélation.
 - * Description du degré de corrélation entre 2 points d'un système.
- Distributions de cordes
 - * Outil de description de l'interface solide/pore
 - * Caractérisation de certains désordres structuraux
- Nombre d'Euler Poincaré (connectivité).
- Dénombrement des poroïds
- Tortuosité
-

⇒ Quantification du milieu

Modélisation et simulation

Utilisation des images 3D pour simuler des phénomènes:

- de transport (fluide, masse)
- de transfert (conduction, convectif, radiatif),
- mécaniques (résistance à la rupture)...

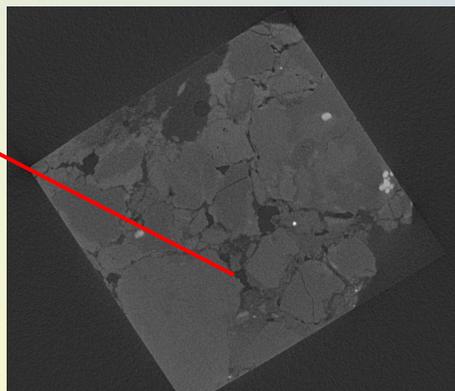
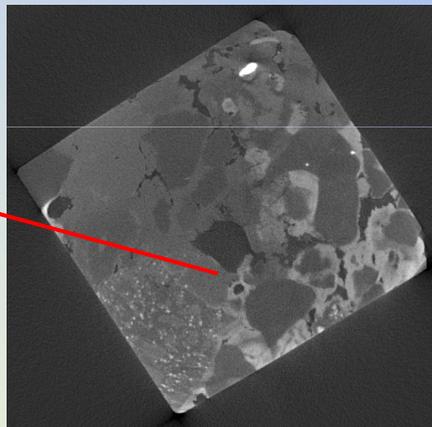
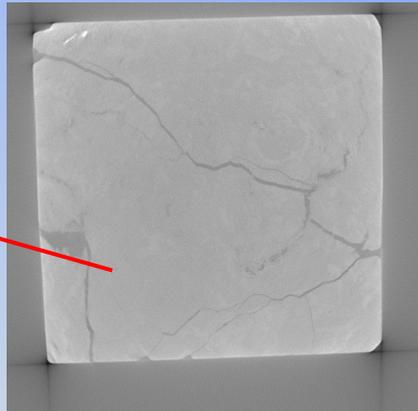


Conclusion

-> D'autres exemples de matériaux ?

Etude de la corrosion atmosphérique et dans la pierre des armatures métalliques du 18ème siècle de la cathédrale d'Orléans

E. Provent, V. L'Hostis, D. Neff
(SCCME/LECBA et SIS2M/LAPA,
CEA/CNRS)



Objectifs:

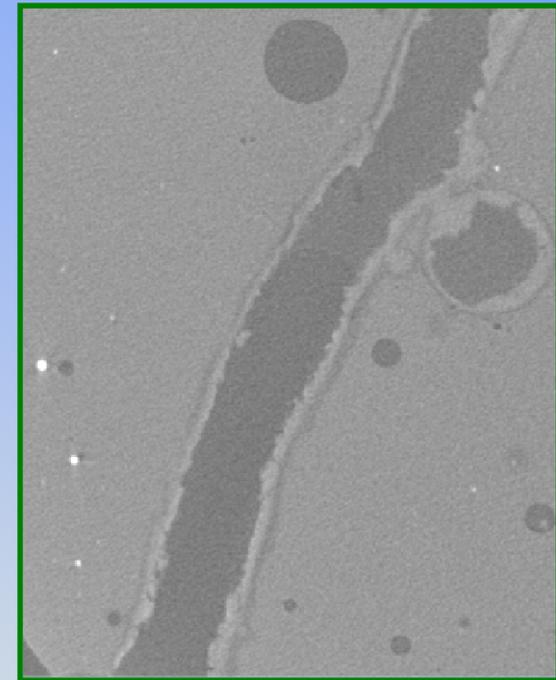
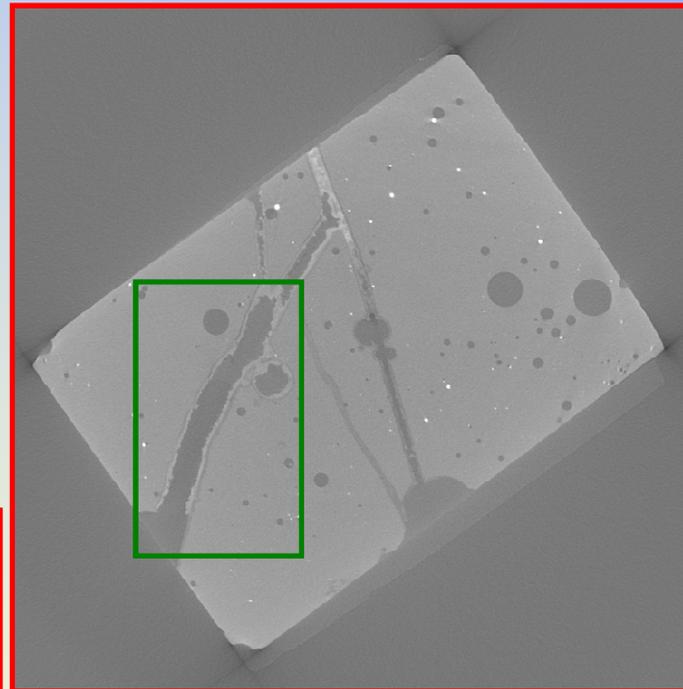
- Observer les produits de corrosion
- Comprendre la migration des espèces ferriques dans la matrice cimentaire.
- « La » question: est-il possible de distinguer les phases réactives (marbrures d'oxydes de fer) dans la matrice d'oxy-hydroxydes (goethite principalement,).

Voxel size: 3 μm

Utilisation d'analogues archéologiques pour comprendre et prédire l'altération (sur le long terme) des verres nucléaires dans des environnements complexes

A. Michelin, D. Neff, P. Dillmann (SIS2M/LAPA)

Verre archéologique (SiO_2 65%, CaO 18%, Al_2O_3 à 7%, Fe_2O_3 9%).

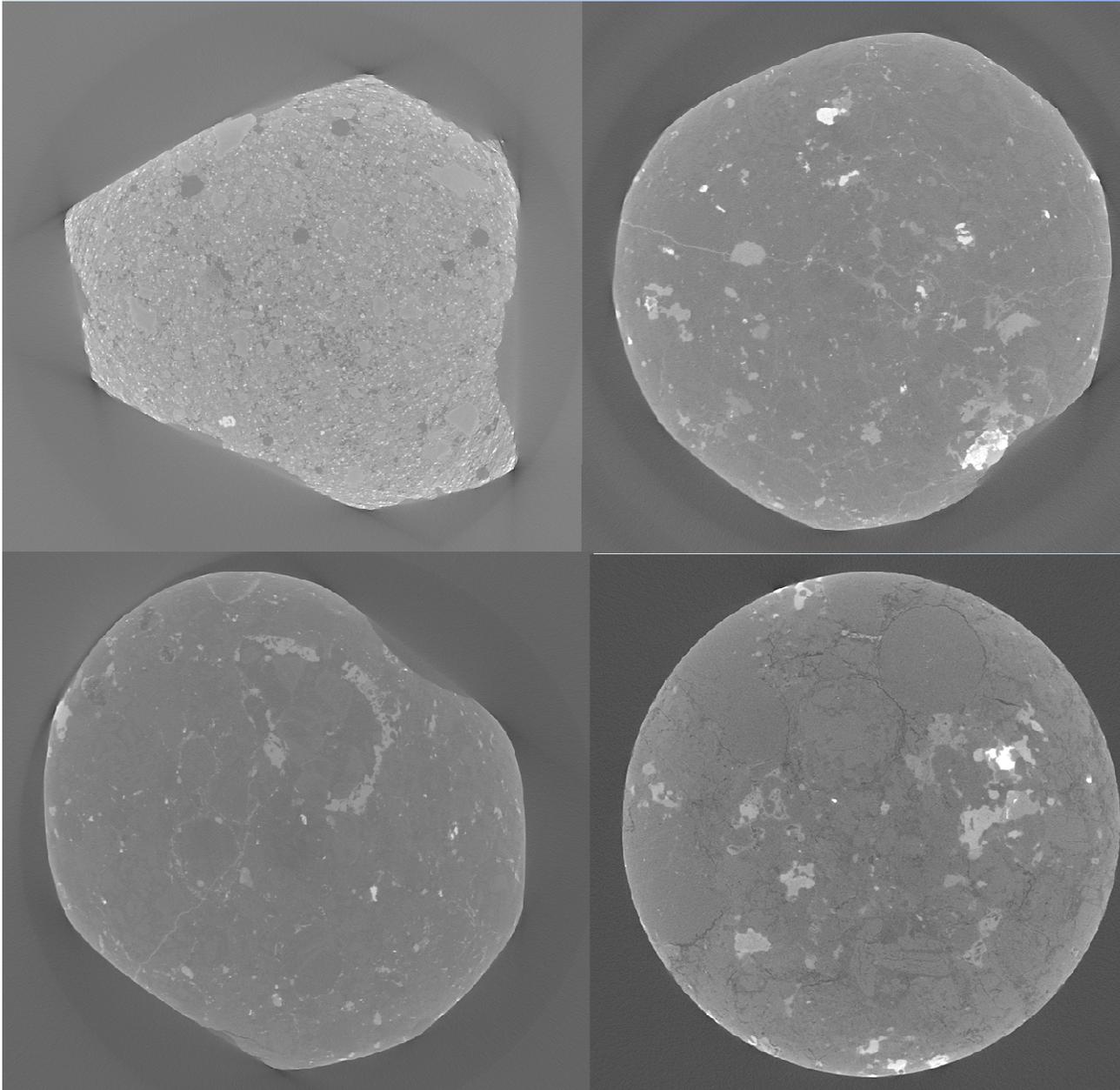


Objectif: déterminer le réseau de fissures en 3D et observer les **carbonates de fer** cristallisés dans les fissures (quantification des phases).

Voxel size: 3 μm

Caractérisation de **météorites** issues du désert marocain

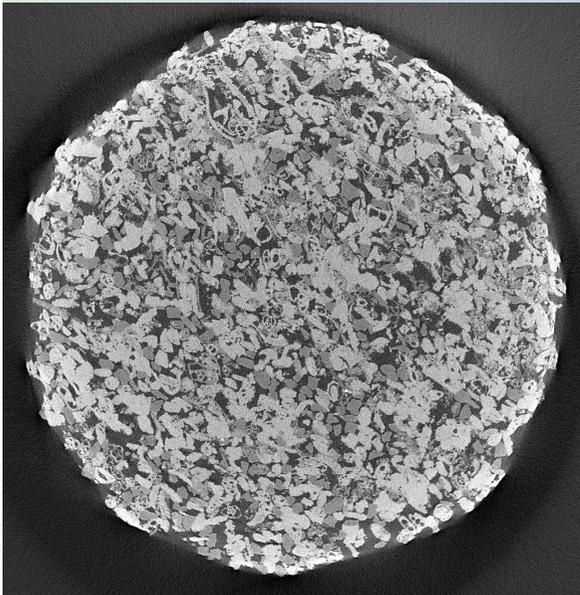
A. Ibhi (GE&GM) Agadir
M. Sadgal (LISI) Marrakech,
R. Jennane (PRISME) Orléans



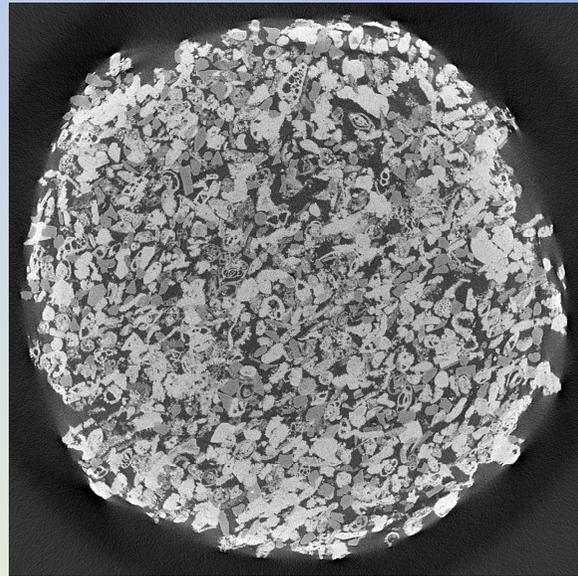
Objectifs:

- Caractérisation, classification, recensement (base de données).
- Informations sur notre système solaire et sur la Terre.

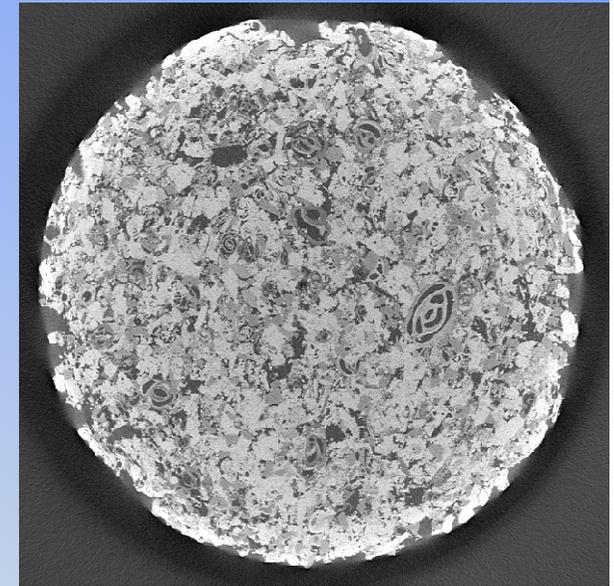
Caractérisation de trois pierres issues d'une même carrière (ROCAMAT)



Saint Maximin



Roche Franche



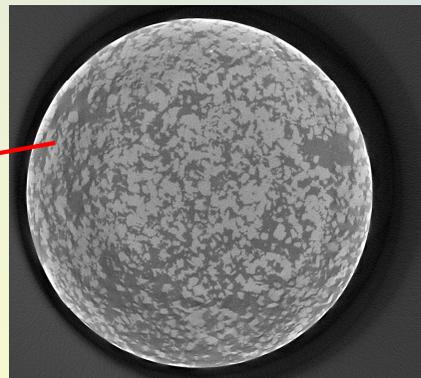
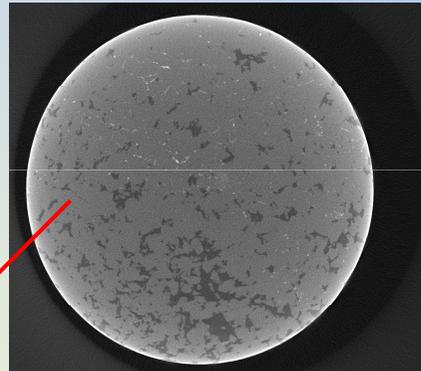
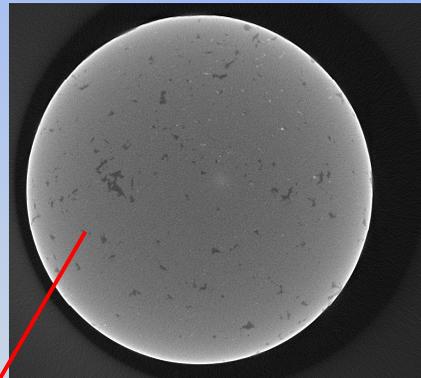
Roche Franche Fine

Objectifs:

- Caractériser 3 roches issues de trois bancs successifs,
- Déterminer un VER (??).

Voxel size: 3 μm

Caractérisation d'une roche provenant d'une exploitation minière



L. Barbanson, Y. Branquet (ISTO)

Roche issue de la mine de Reocin, Santander, Nord de l'Espagne.

Minéralisation à texture rubanée caractérisée par l'alternance de rubans de **dolomite ferrifère** ((Fe,Mg)Ca(CO₃)₂) et de rubans composés pour l'essentiel de **sphalerite** (ZnS) et **galène** (PbS).

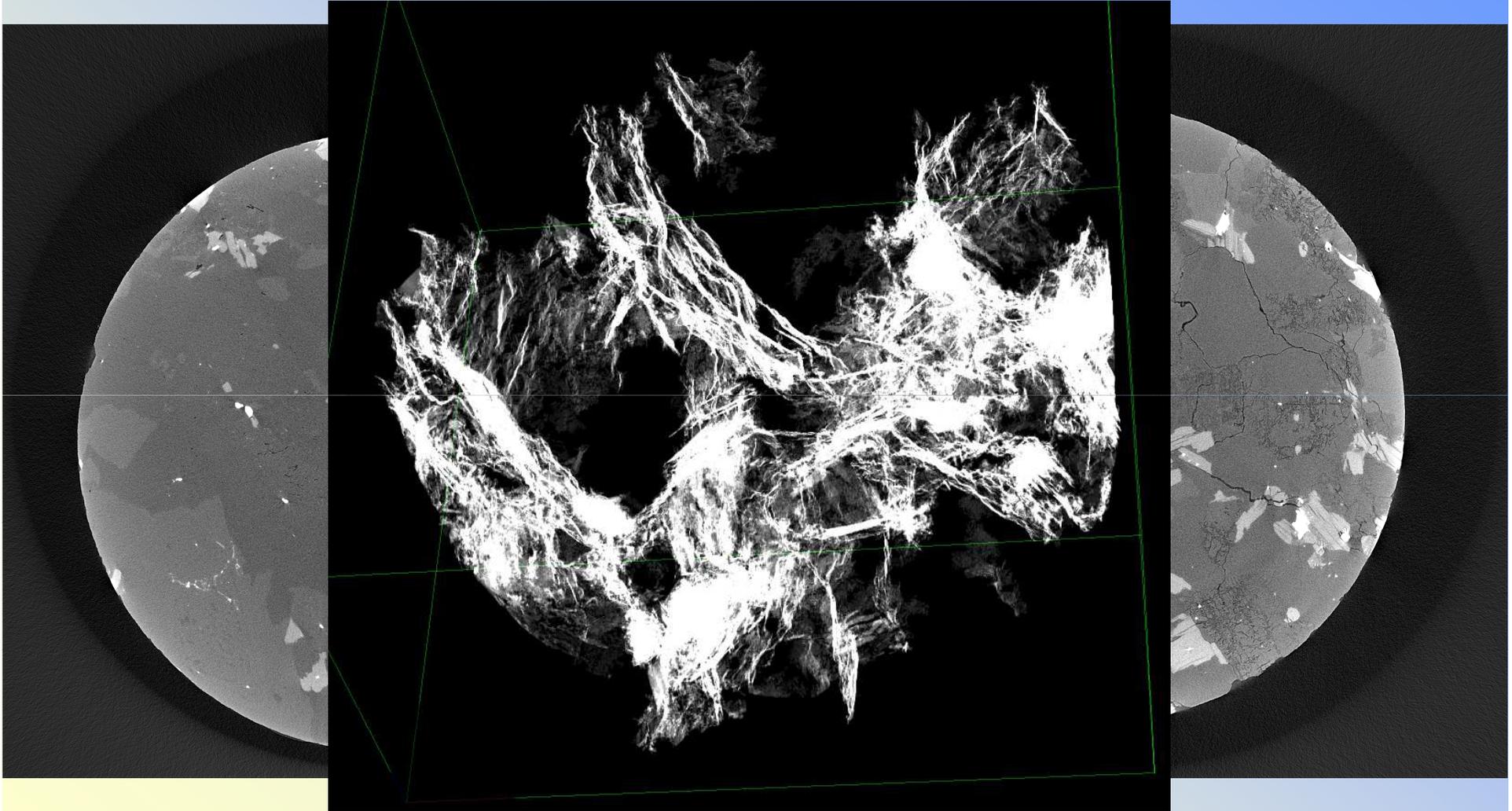
Objectifs:

- Distinguer les minéraux utiles (sphalerite (ZnS) et galène (PbS)) de la gangue (dolomite et dolomite ferrifère).
- Comprendre les processus aboutissant à la formation d'un gisement
⇒ applications directes à l'industrie minière.

Voxel size: 3.2 μm

Caractérisation de l'altération d'un **granite** mis en oeuvre

A. Mauricio, C. Figueiredo (IST-Lisbonne)

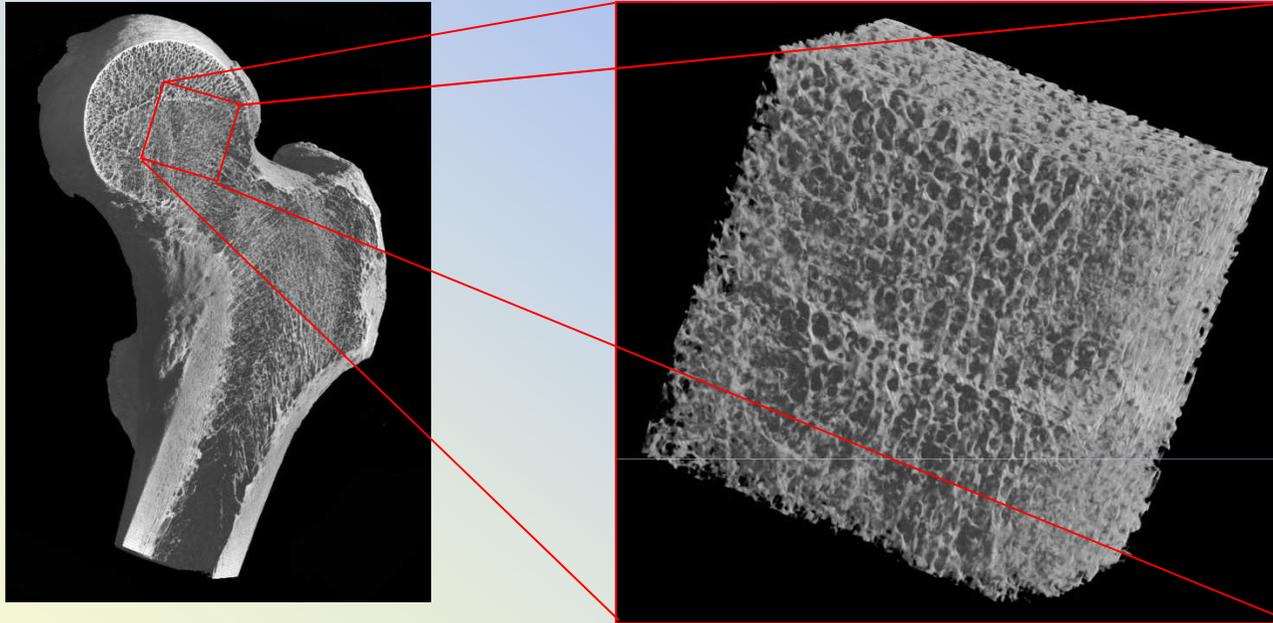


Objectif: déterminer le réseau de fissures en 3D et quantifier les phases.

Voxel size: 3.2 μm

Caractérisation virtuelle de la rigidité mécanique osseuse

E. Lespesailles, C.L. Benhamou (IPROS)
R. Jennane (PRISME-ISS),
R. Hambli (PRISME-MMH)



Objectifs:

mise en place et validation une nouvelle technologie afin d'estimer virtuellement et avec précision les propriétés mécaniques du col du fémur

Moyens:

- Imagerie 3D de tetes de femurs
- injection de ces images dans un modèle mécanique en éléments finis pour obtenir les caractéristiques mécaniques de l'os
- Comparaison des résultats numériques aux essais mécaniques réels réalisés.

Merci pour votre attention