

Utilisation du traitement d'images 3D pour l'amélioration de la conductivité thermique et électrique des matériaux composites

Philippe Karamian⁽¹⁾, Sophie Lemaitre⁽¹⁾, Vladimir Salnikov⁽¹⁾,
Grégory Dagniaux⁽²⁾, Bruno Laÿ⁽²⁾

(1) Laboratoire de Mathématique Nicolas Oresme – BP 5186 – 14032 Caen – France

(2) ADCIS S.A. – 3, rue Martin Luther King – 14280 Saint-Contest – France



- ⇒ Projet collaboratif FUI15 avec les partenaires suivants :
 - R&D : Université de Caen, CNRS, Université de Nantes
 - Industriels : Aerazur, Aircelle, Arkema, Intertechnique, Safran, Dediennne Plasturgie, Lifco et ADCIS
- ⇒ Projet labellisé par les pôles de compétitivité ASTECH, EMC2 et MOV'EO
- ⇒ L'objectif du projet consiste à augmenter les conductivités thermique et électrique des matériaux composites thermoplastiques afin d'accroître leur utilisation dans les applications industrielles. Il permet aux acteurs de la filière aéronautique de renforcer leur compétitivité en développant des matériaux et des solutions de mise en œuvre non encore présentes sur le marché.

⇒ Images fournies par Arkema et numérisées à l'ESRF (Grenoble). Les premières images numérisées étaient anisotropes. Les nouvelles images sont numérisées sur une trame quasiment isotrope

○ LMFO :

- Taille des voxels : $0.75 \times 0.75 \times 1 \mu\text{m}^3$
- Images bmp de $1660 \times 1688 \text{ pixels}^2$, numérotées de 65 à 2589 (2525 images)
- Suppression d'une bande de 80 pixels en haut de l'image correspondant probablement au bord de l'échantillon
- Zone de travail de $1660 \times 1600 \text{ pixels}^2 * 2525 \text{ plans}$, soit une taille mémoire de 6.5 Go
- Soit environ un carré d'1.2 mm de coté sur une épaisseur de 2.5 mm

○ CMFO :

- Taille des voxels : $0.75 \times 0.75 \times 1 \mu\text{m}^3$
- Images bmp de $1660 \times 1688 \text{ pixels}^2$, numérotées de 65 à 2589 (2525 images)
- Suppression d'une bande de 80 pixels en haut de l'image correspondant probablement au bord de l'échantillon.
- Zone de travail de $1660 \times 1600 \text{ pixels}^2 * 2525 \text{ plans}$
- Soit environ un carré d'1.2 mm de coté sur une épaisseur de 2.5 mm

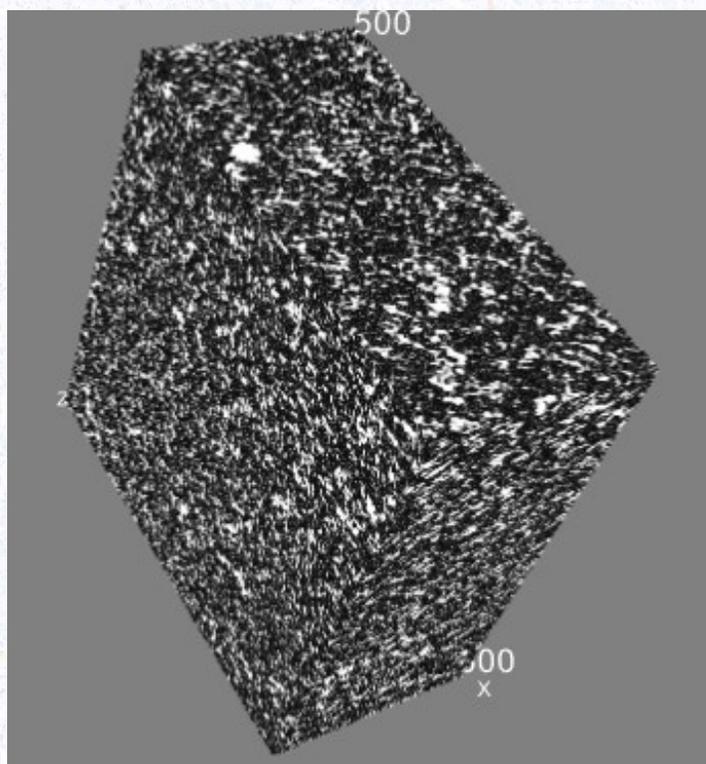


Image 3D originale

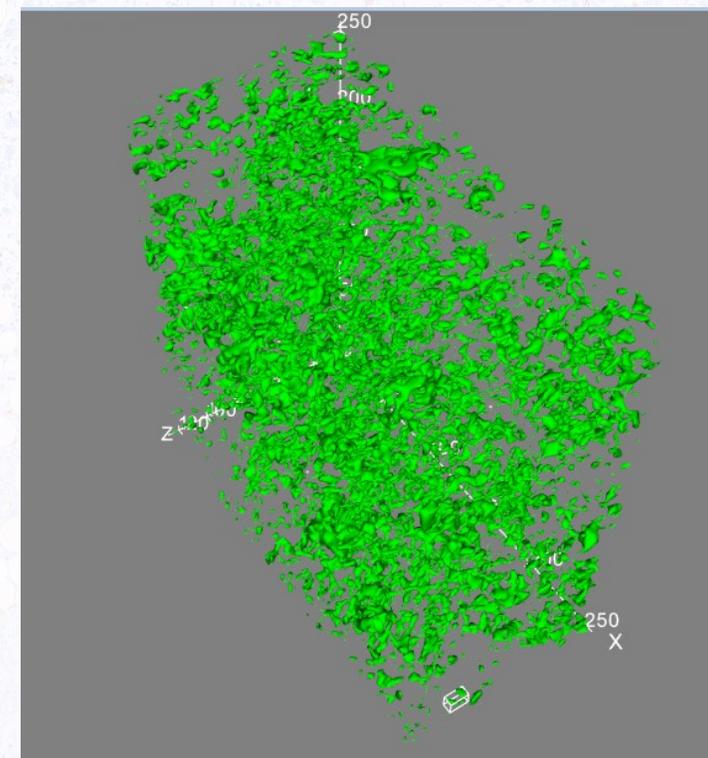
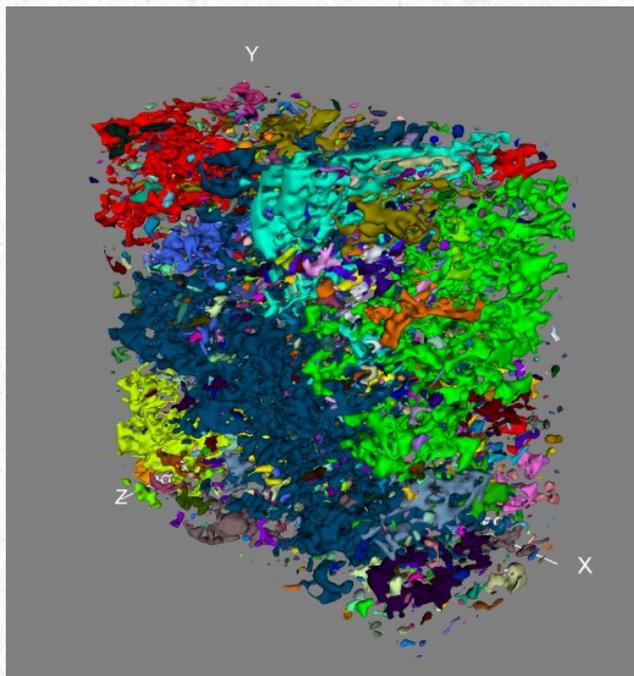


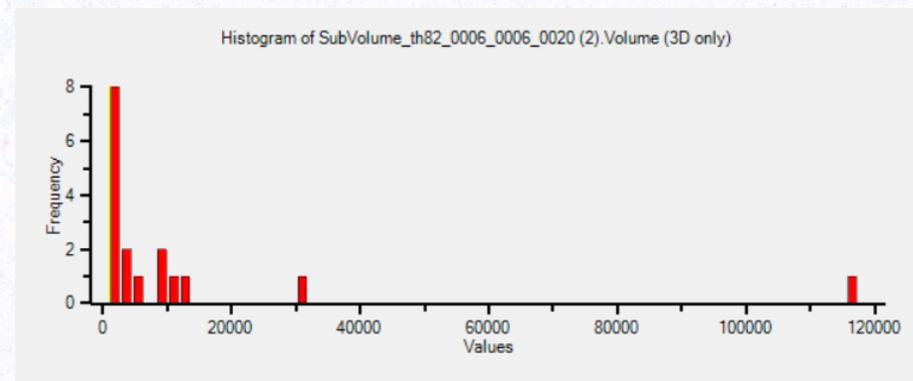
Image 3D après segmentation

- ⇒ Le traitement d'images effectué sur les images est très basique puisqu'il repose sur un simple seuillage. La valeur des bornes est déterminée par le pourcentage surfacique qui est connu.
- Seuillage : Les calculs sont réalisés avec différents niveaux de seuillage afin d'approcher le pourcentage surfacique de 6.5%. Ce pourcentage est déterminé par calcul théorique et pesée
 - Calcul du pourcentage volumique
 - Calcul du nombre d'objets détectés
 - Sauvegarde de tous les objets
 - Mesure de la percolation

Volume analysé : 150 x 150 x 100 μm^3



12,5%

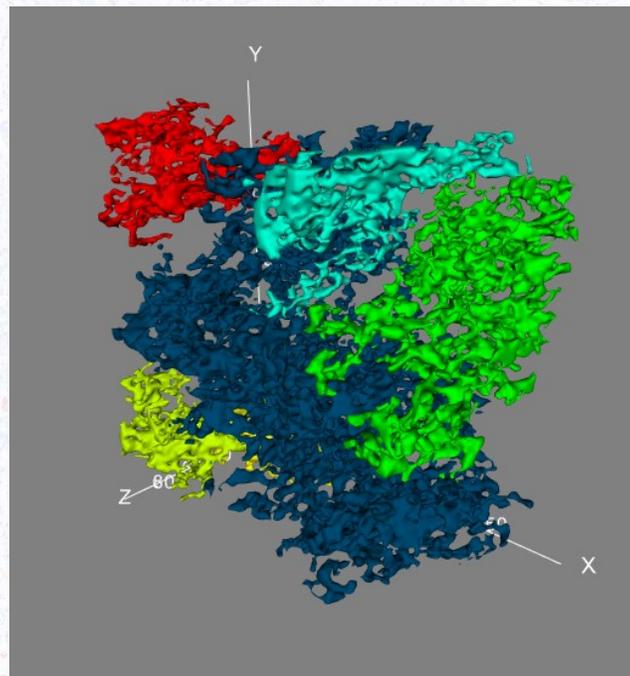
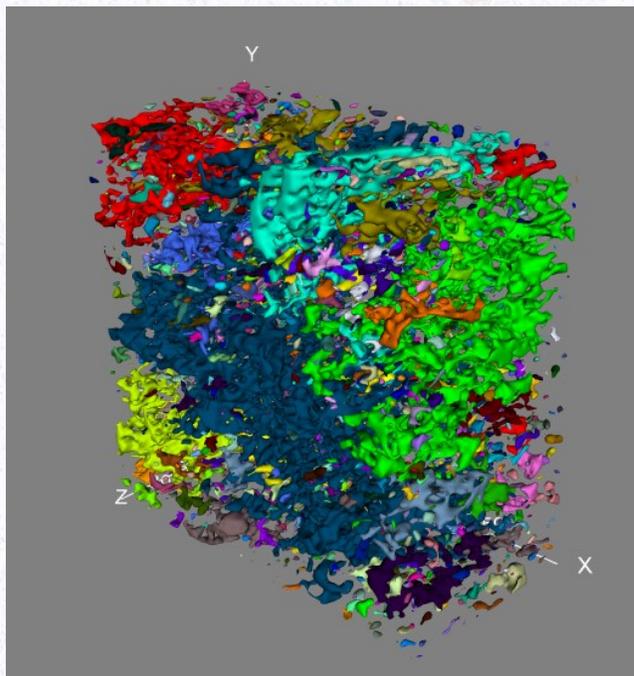


Tous les objets connexes étiquetés
(couleurs différentes)

Teneur

Distribution des volumes
pour tous les objets > 1000 μm^3

Volume analysé : 150 x 150 x 100 μm^3



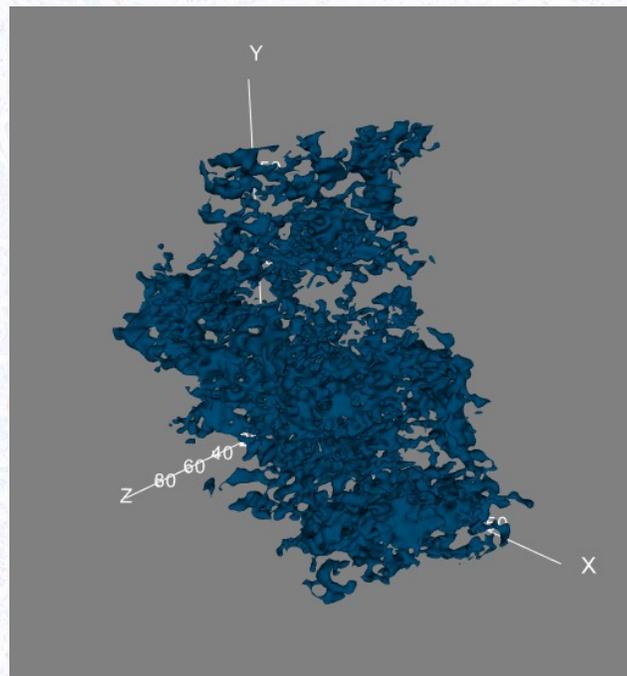
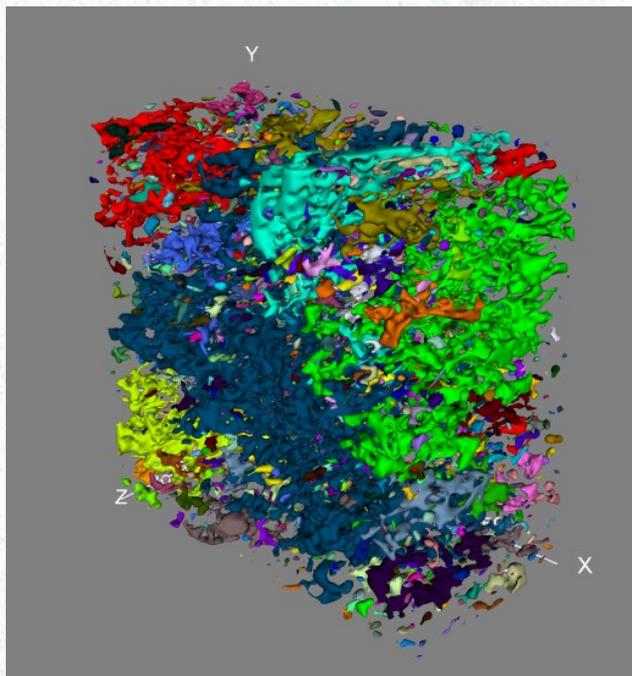
8,49%

Tous les objets connexes étiquetés
(couleurs différentes)

Les 6 plus gros objets connexes

Teneur

Volume analysé : $150 \times 150 \times 100 \mu\text{m}^3$



5,2%

Tous les objets connexes étiquetés
(couleurs différentes)

Un seul objet traversant le volume

Teneur

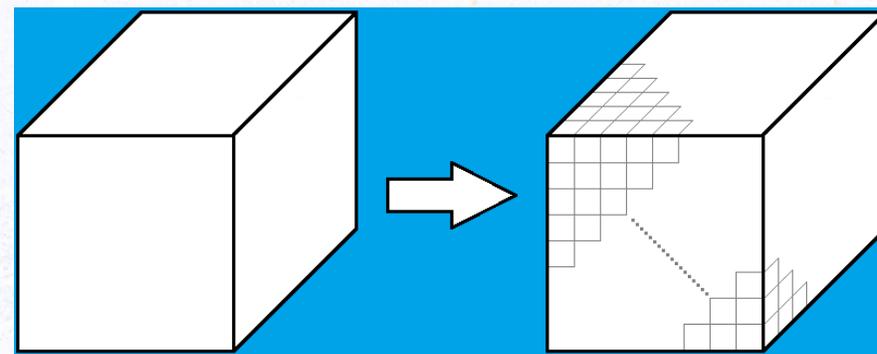
⇒ Découpage du volume en sous-volumes afin de pouvoir traiter les images et effectuer des études de modélisation

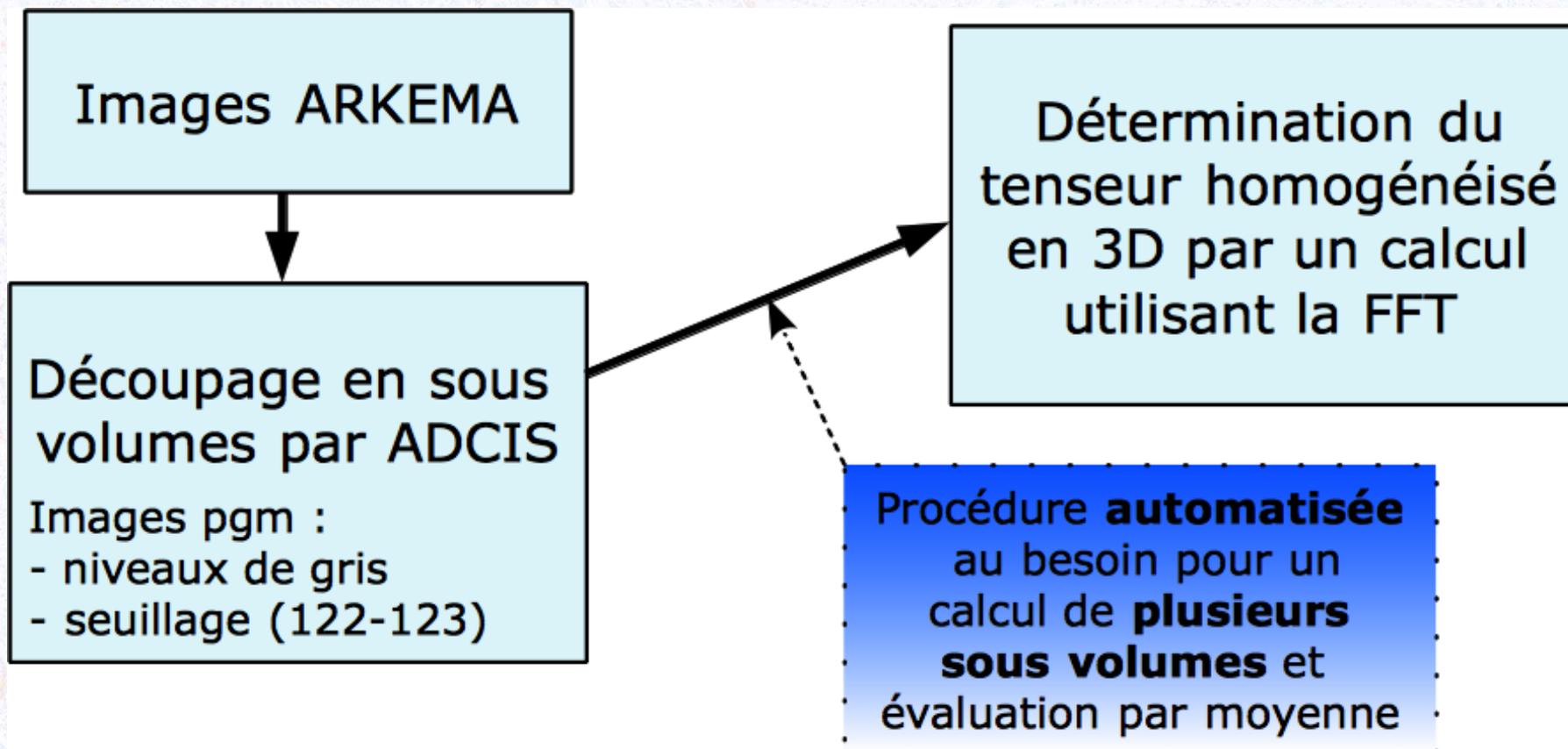
- Les bords de la plaque ont été exclus
- 3 tailles de sous-volumes ont été déterminées en fonction de la taille des objets :

200x200x100 soit 936 sous-volumes

256x256x128 soit 360 sous-volumes

512x512x256 soit 40 volumes





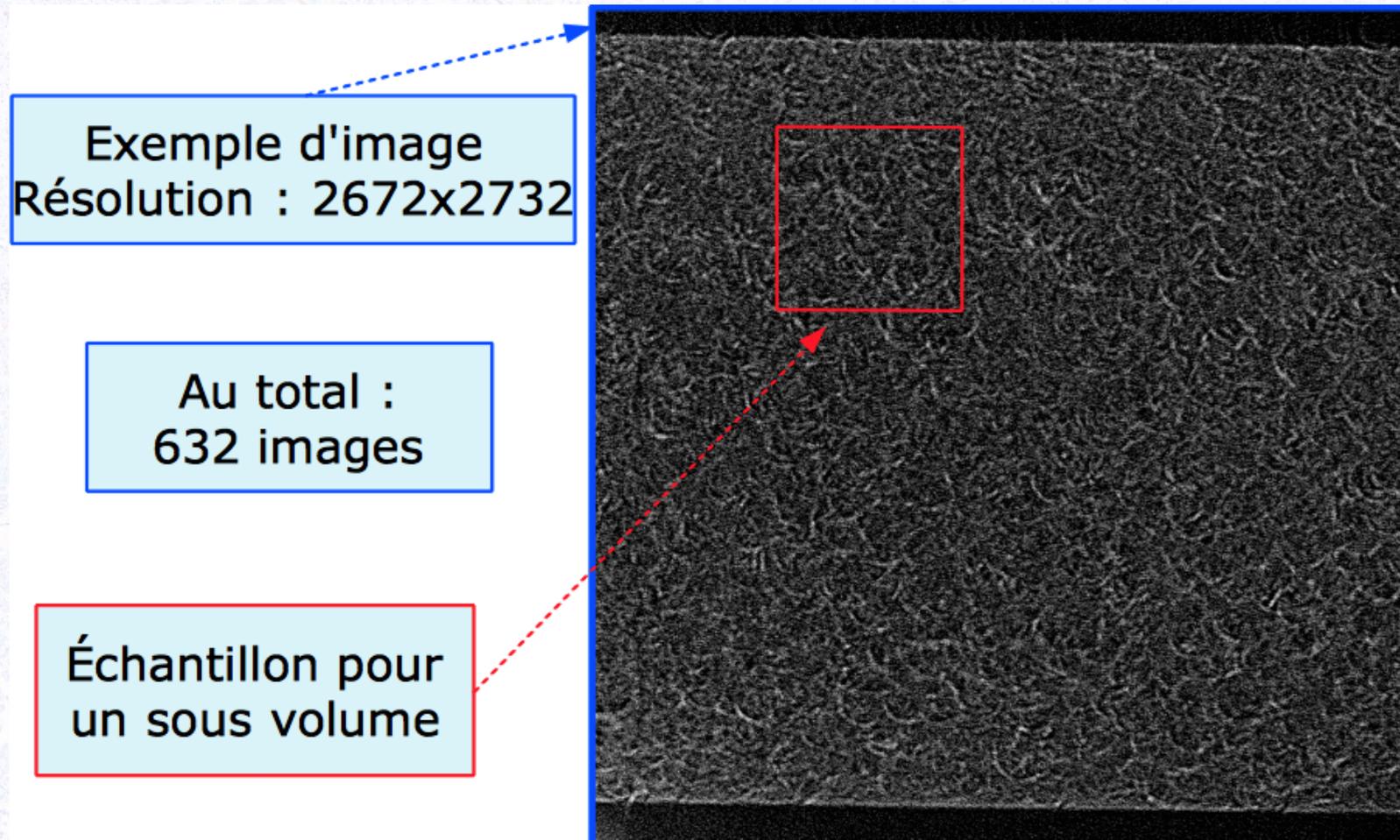
⇒ En résolution 200 x 200 x 100

⇒ En résolution 256 x 256 x 128

⇒ En résolution 512 x 512 x 256

- Aléatoirement
- Non aléatoirement

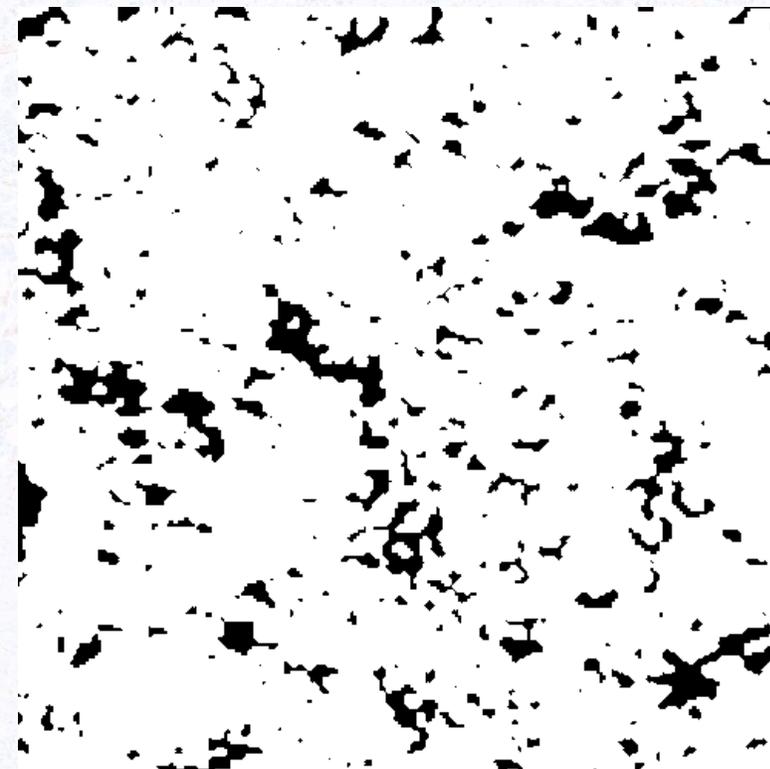
Exemple d'une image



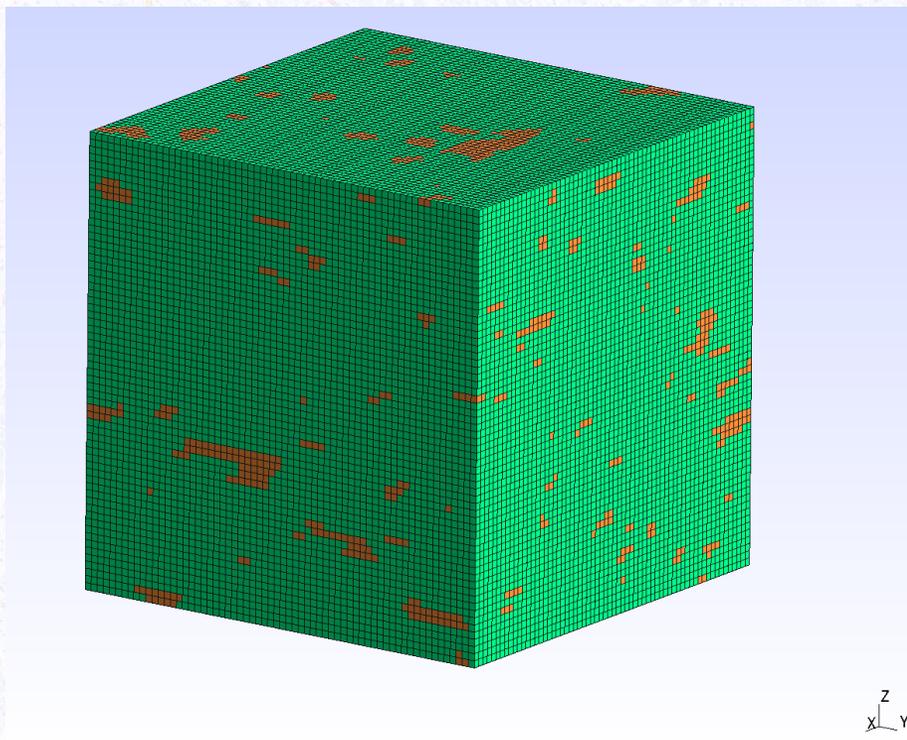
Exemple d'une image



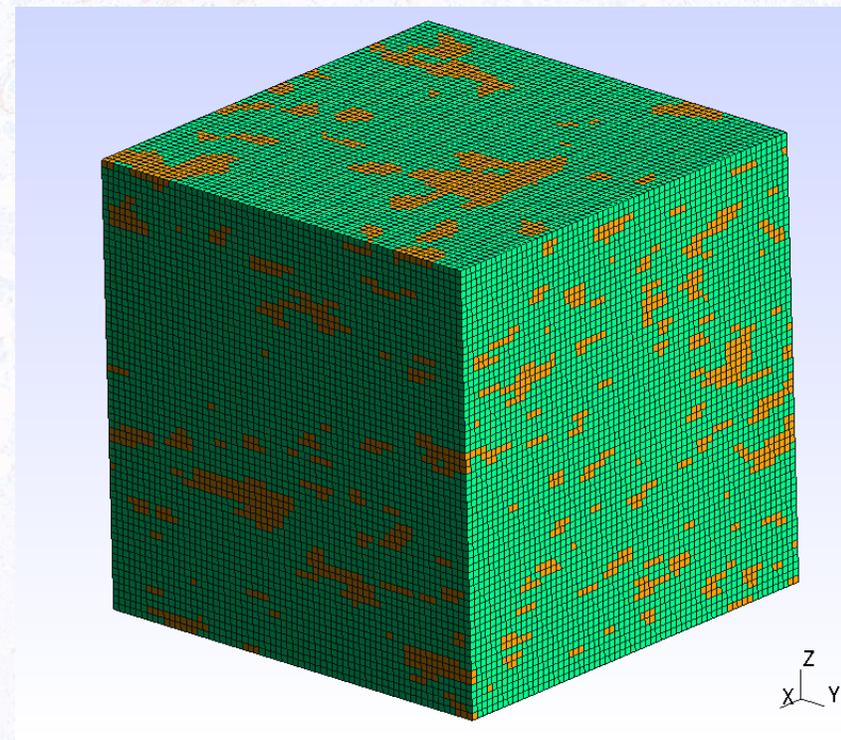
Seuil 120 → $f_{\text{incl}}=6.1$ % en volume



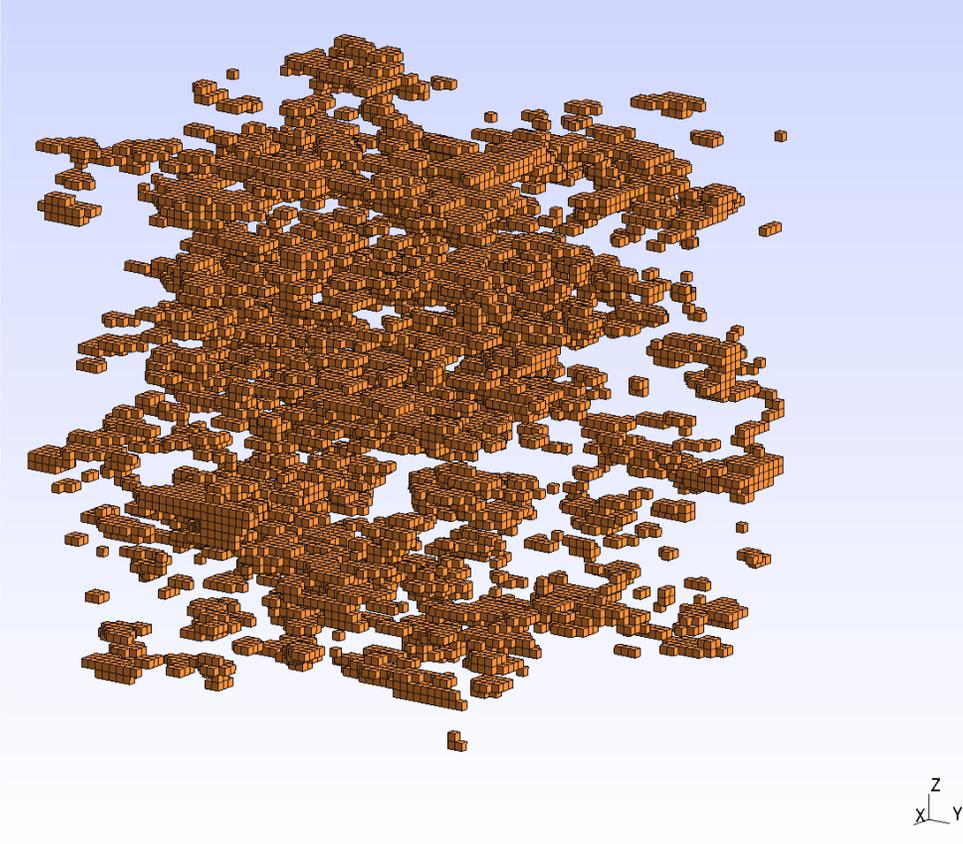
Seuil 98 → $f_{\text{incl}}=14.3$ % en volume



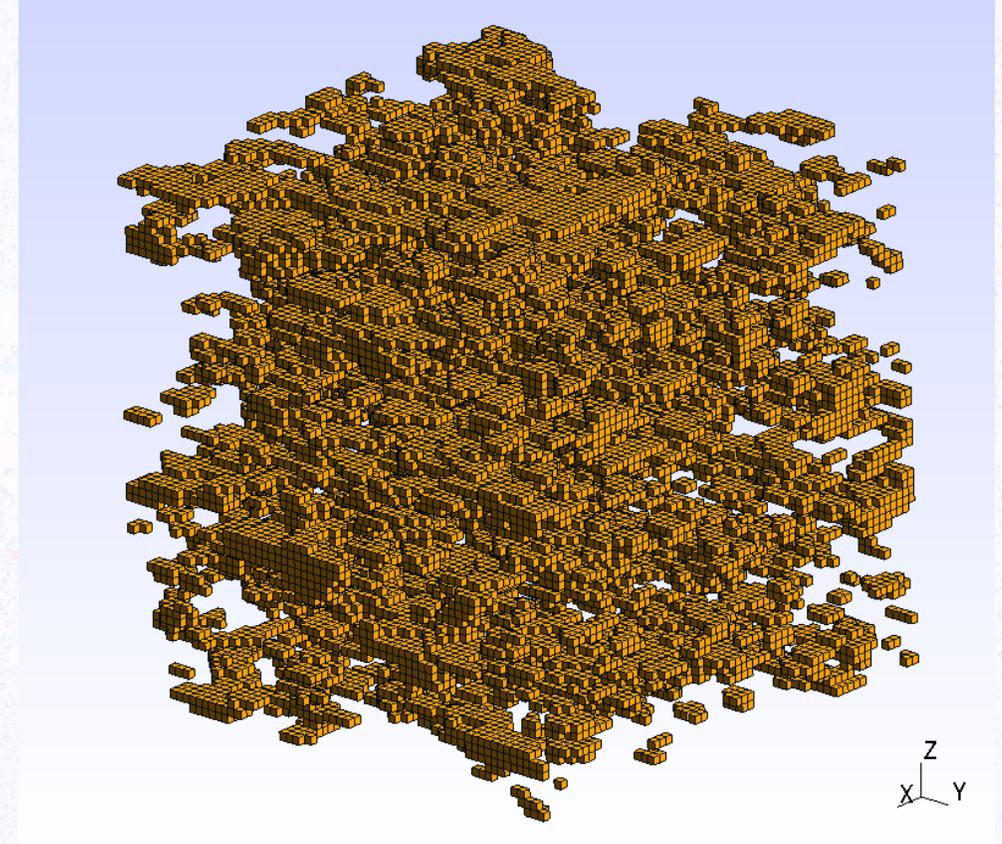
Seuil 120 → $f_{incl}=6.1$ % en volume



Seuil 98 → $f_{incl}=14.3$ % en volume



Seuil 120 \rightarrow $f_{incl}=6.1$ % en volume



Seuil 98 \rightarrow $f_{incl}=14.3$ % en volume

SubVolume_th123_0012_0011_0000

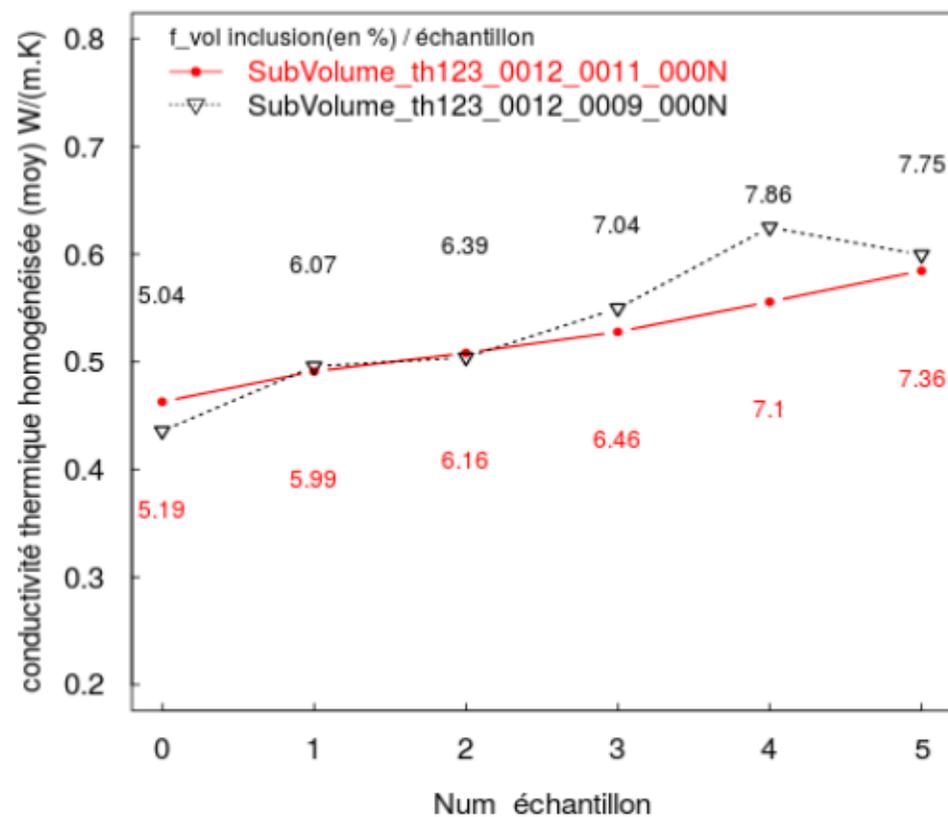
-->SubVolume_th123_0012_0011_0005

$K_{hom} = \begin{pmatrix} \mathbf{0.5119} & -0.0158 & -0.0261 \\ -0.0158 & \mathbf{0.6832} & 0.0093 \\ -0.0261 & 0.0093 & \mathbf{0.4551} \end{pmatrix}$

f_incl= 7% (en vol)

- Petite fluctuation du % de f_incl
- Cohérent avec les valeurs moyennes de conductivité
- Possibilité de moyenner l'ensemble
- Orthotropie suivant l'axe y

200x200x100 - seuil 123



256x256x128

SubVolume_th123_0004_0005_0003 SubVolume_th123_0004_0006_0003

$$K_{\text{hom}} = \begin{pmatrix} \mathbf{0.4957} & 0.0079 & -0.0232 \\ 0.0079 & \mathbf{0.5517} & 0.0041 \\ -0.0232 & 0.0041 & \mathbf{0.4280} \end{pmatrix}$$

$$K_{\text{hom}} = \begin{pmatrix} \mathbf{0.5150} & 0.0173 & -0.0270 \\ 0.0173 & \mathbf{0.5810} & 0.0067 \\ -0.0270 & 0.0067 & \mathbf{0.5809} \end{pmatrix}$$



- Peu de variation de la fraction volumique même ordre de grandeur qu'en 200x200x100
- Mêmes conclusions (---> lissage par moyenne)
- On retrouve une orthotropie dans la direction y

256x256x128 ALéatoire

SubVolume_th123_0039

$$K_{\text{hom}} = \begin{pmatrix} \mathbf{0.4718} & 0.0145 & -0.0134 \\ 0.0145 & \mathbf{0.5247} & 0.0009 \\ -0.0134 & 0.0009 & \mathbf{0.4139} \end{pmatrix}$$

f_incl=5.7 % (en vol)

SubVolume_th123_0040

$$K_{\text{hom}} = \begin{pmatrix} \mathbf{0.5109} & 0.0007 & -0.0197 \\ 0.0007 & \mathbf{0.5855} & 0.0009 \\ -0.0197 & 0.0009 & \mathbf{0.4396} \end{pmatrix}$$

f_incl=6.4 % (en vol)



- Mêmes conclusions que précédemment

512x512x256

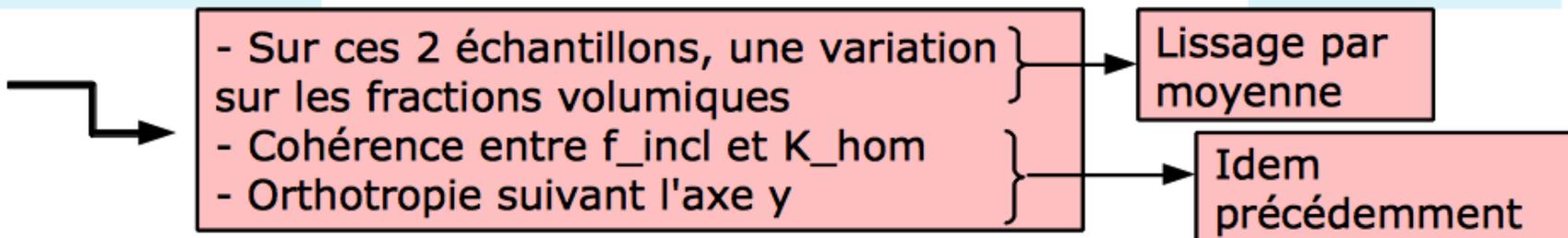
SubVolume_th123_0001_0000_0000.II

$$K_{\text{hom}} = \begin{pmatrix} \mathbf{0.6031} & 0.0226 & -0.0282 \\ 0.0226 & \mathbf{0.7109} & 0.0147 \\ -0.0282 & 0.0147 & \mathbf{0.4926} \end{pmatrix}$$

f_incl=7.7 % (en vol)

$$K_{\text{hom}} = \begin{pmatrix} \mathbf{0.4575} & 0.0084 & -0.0135 \\ 0.0084 & \mathbf{0.5091} & 0.0087 \\ -0.0135 & 0.0087 & \mathbf{0.4057} \end{pmatrix}$$

f_incl= 5.4% (en vol)



- ⇒ Pas d'influence notable sur les résultats quant à la résolution choisie
- ⇒ Même constat quant au choix des sous-volumes aléatoires
- ⇒ Un calcul en moyenne permet de donner une bonne approximation