



Modélisation à l'échelle du pore et design d'échangeur à mousse

Jean-Michel Hugo^{1,2}

François Rochat², Frédéric Topin¹

¹IUSTI Laboratory, Polytech'Marseille, CNRS UMR
6595, Université de Provence, Marseille, France

²MOTA S.A. Cooling System, Aubagne, France

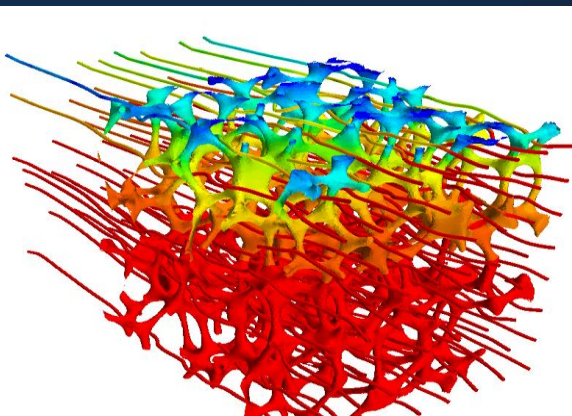


Sommaire

- Methodologie
- Volume Elementaire Représentatif
- Simulation numérique directe
- Résultats
 - Visualisation
 - Coefficient de Perte de Charge
 - Coefficient d'échange
 - Conductivité effective
- Vers une géométrie optimisée
- Milieux Poreux Equivalent

Contexte

- Design d'échangeur de chaleur:
 - Augmentation des transferts de chaleur
 - Limitation de la perte de charge
 - Réduction de l'encombrement et du poids
 - Maintient ou réduction du coût & Augmentation de l'efficacité
- Etude de la littérature et positionnement des recherches
- Conception et production d'une série de prototypes = long & coûteux

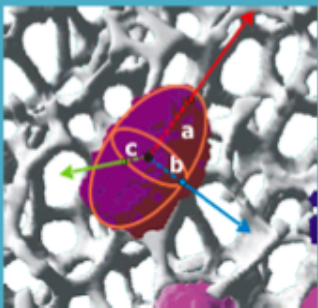


- CFD → Choix de géométries optimisées
 - 1 Validation sur banc d'essais

Méthodologie

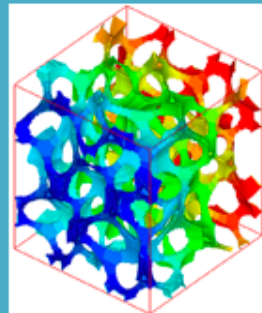
Morphological Characterisation

- 3D morphology
- Advanced morphometry



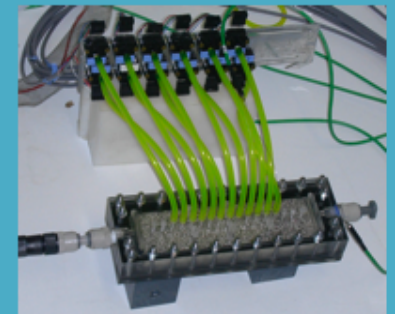
Numerical Simulation on real Geometry

- Heat Transfer
- Fluid flow
- Mixing



Experimental Measurement

- Fluid flow law
- Heat transfer
- Catalysis



Structure



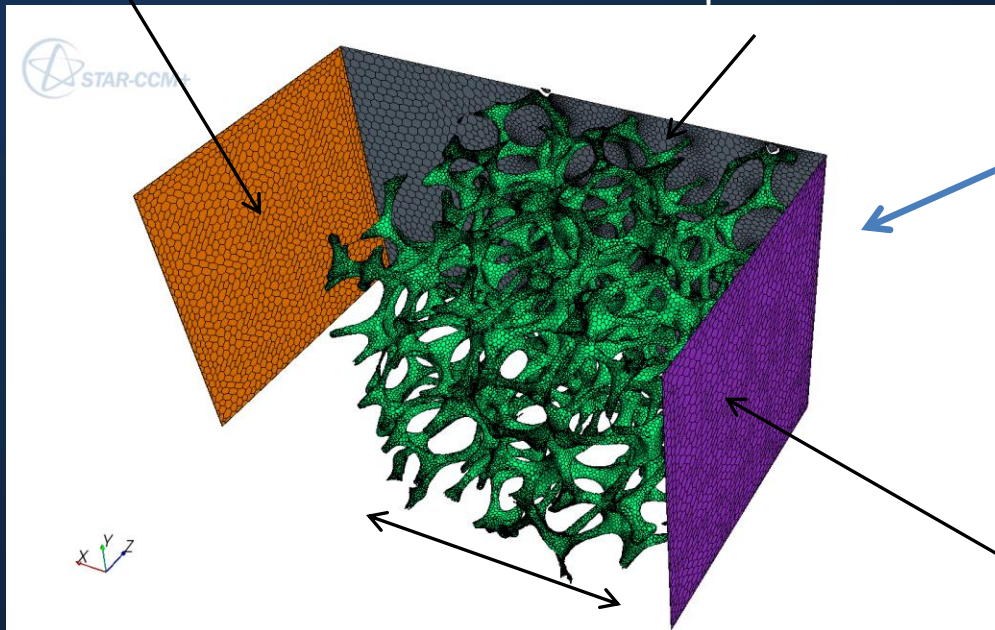
Transfer properties

Volume représentatif d'un échangeur de chaleur

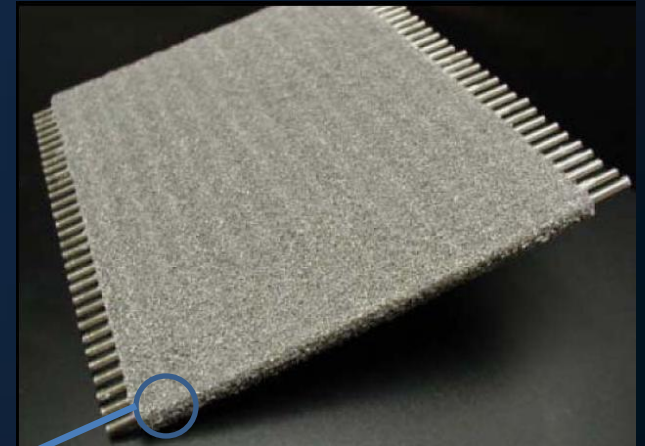
Simulation sur StarCCM+ de CD- Adapco

Pression de sortie

Température de paroi



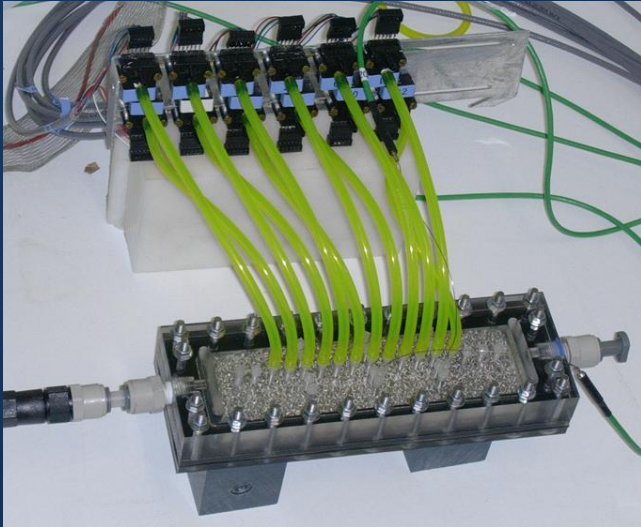
15mm



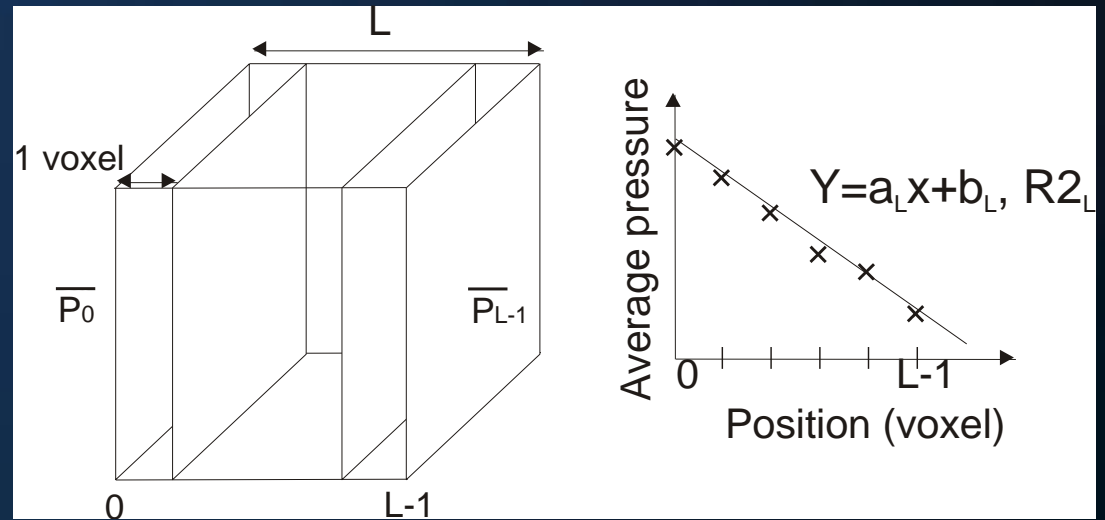
- Taille de VER
- Etablissement de l'écoulement
- Couche Limite thermique "brisée"
- Mélange des filets fluide
- → Augmentation des transferts

Pression d'entrée
ou débit massique

Evaluation du VER pour la pression

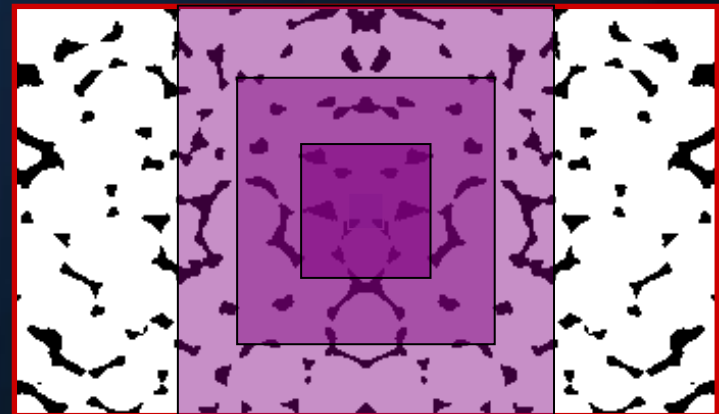


Experimental set-up to measure pressure drop profile

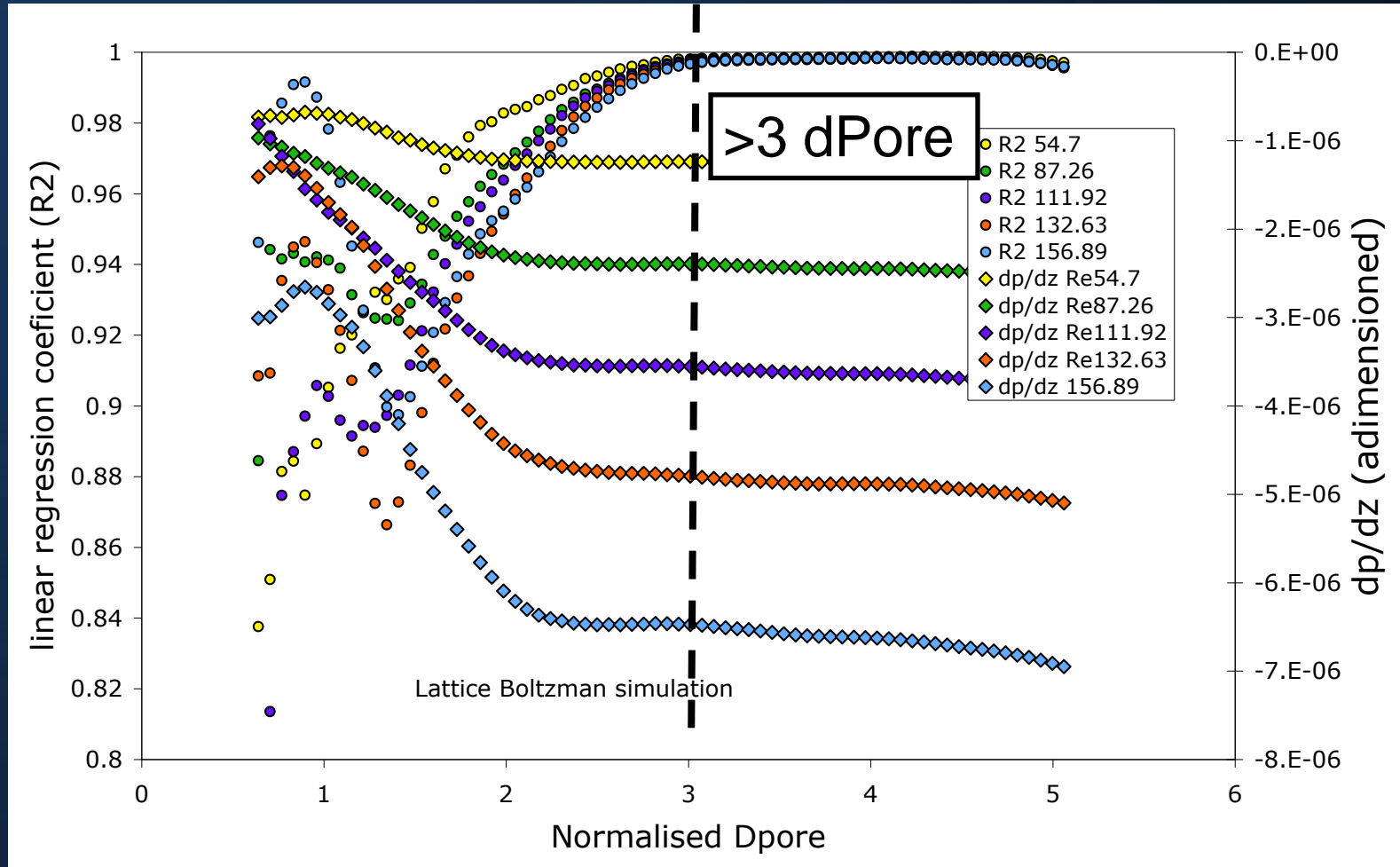


For each centered box of side L :
10 to 198 voxels
(0 to 5 D_{pore})
 $D_{\text{pore}} = 1800\mu\text{m}$

We calculate a_L , R^2_L

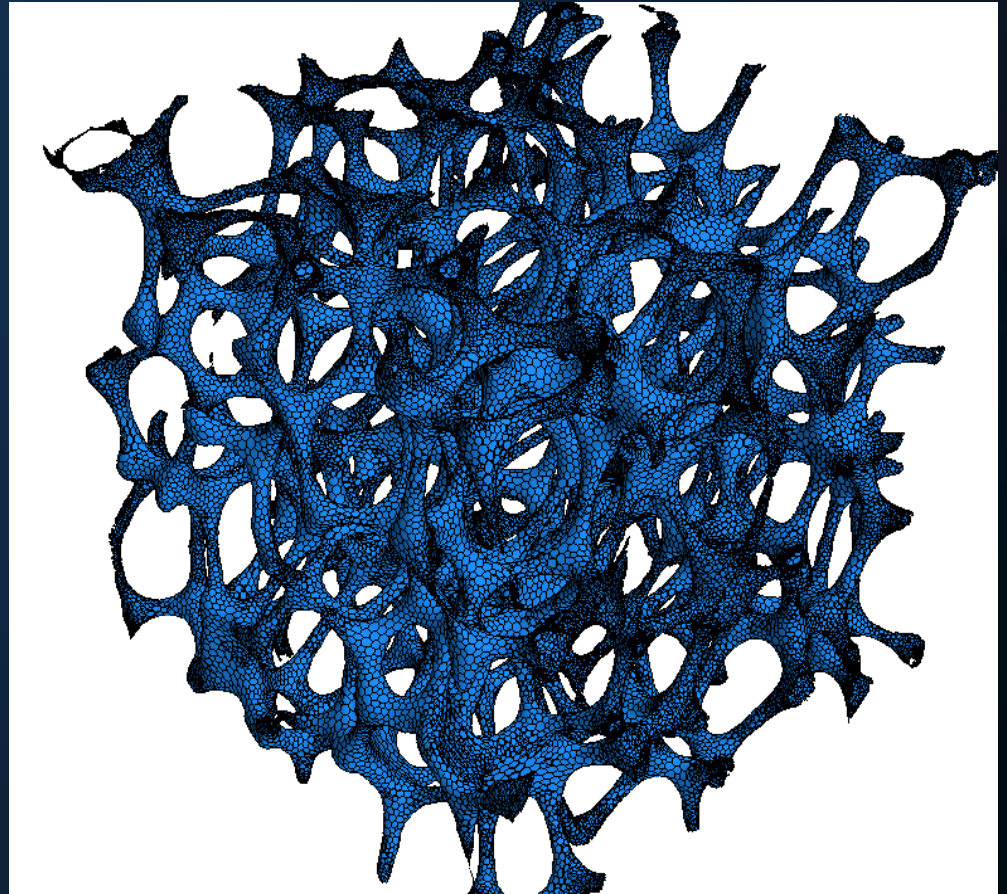


Evaluation du VER pour la pression



Propriétés du maillage

- Polyhedral volume mesh
- Thin prism mesh in boundary layer
- Target size : 0.2mm
- Minimal Size : 0.02mm
- 1.200.000 volumes cells (solid+fluid)



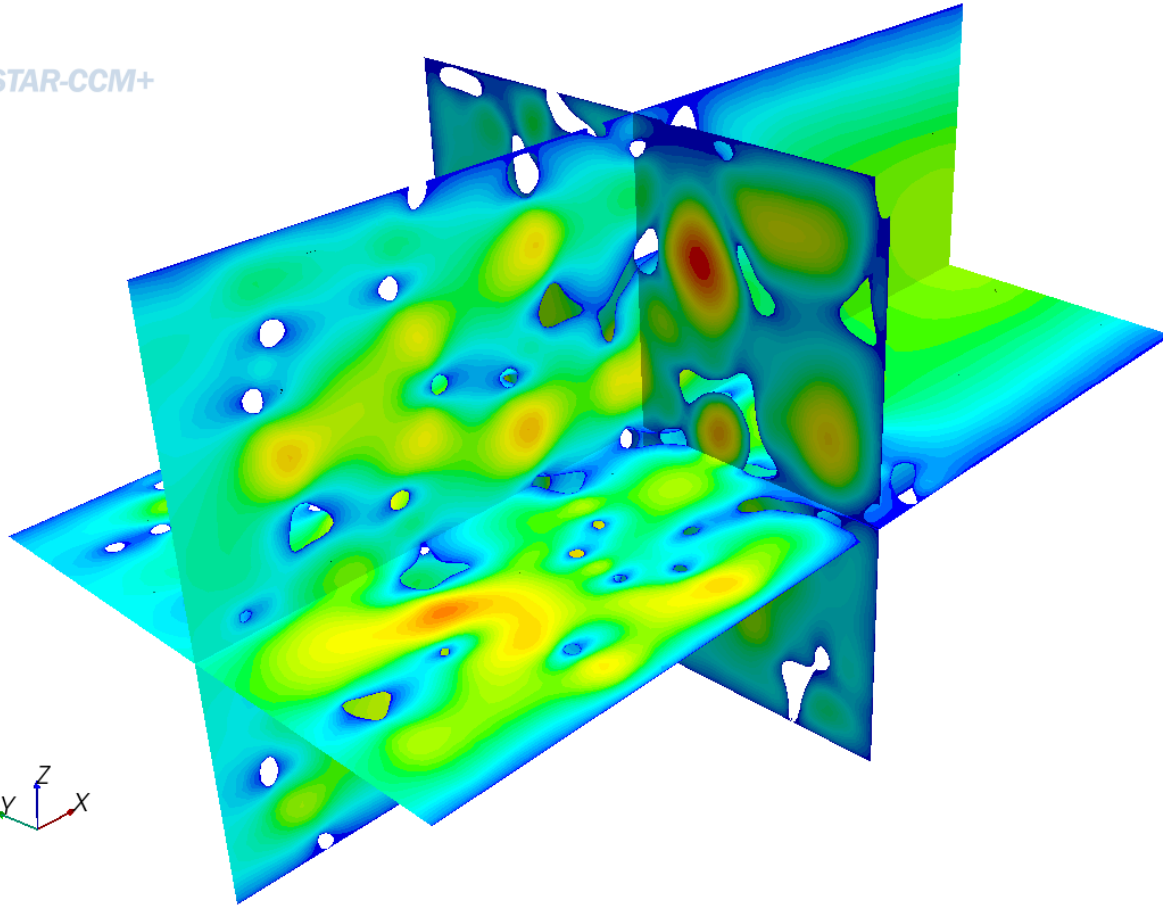
Représentation de la phase solide maillée

Modèles physiques

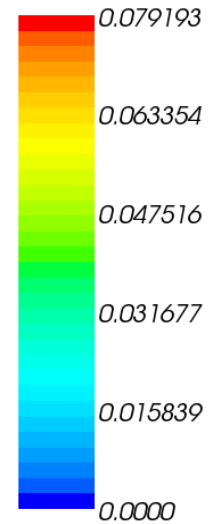
- Finite volume method
- Navier-Stokes and Energy balance.
- Steady, Laminar, incompressible.
- 5 hours on 1 Intel QuadriCore @ 3GHz

- Fluid properties:
 - $\lambda=0.1275$ W/mK
 - $\rho=850$ kg/m³
 - $\mu=0.02$ Pa.s
 - $C_p=2000$ kJ/kg.K
- Solid properties:
 - $\lambda=80, 237$ or 398 W/mK

Champ de vitesse



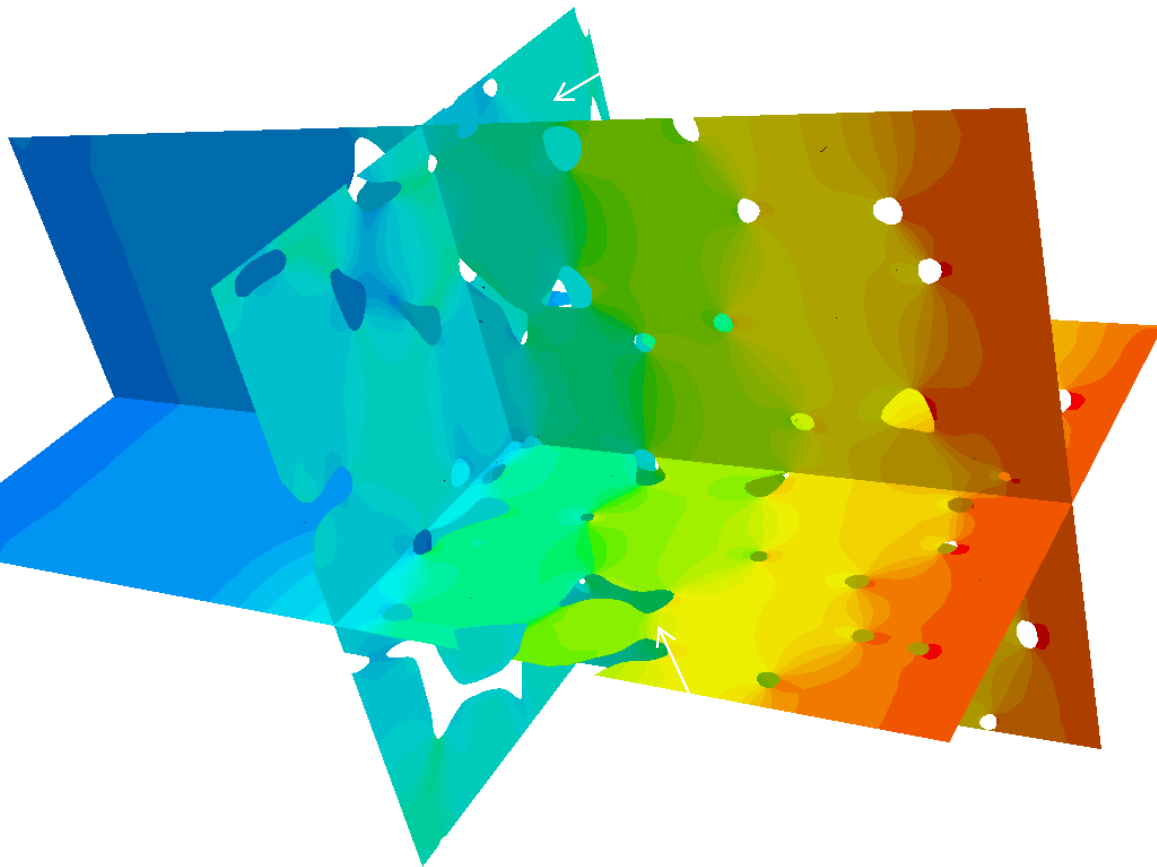
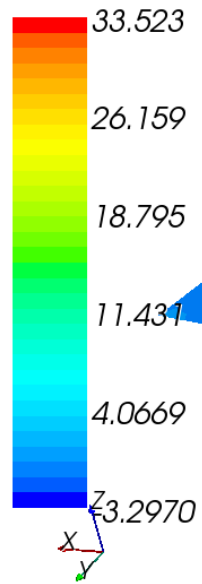
Velocity: Magnitude (m/s)



Champ de pression



Pressure (Pa)

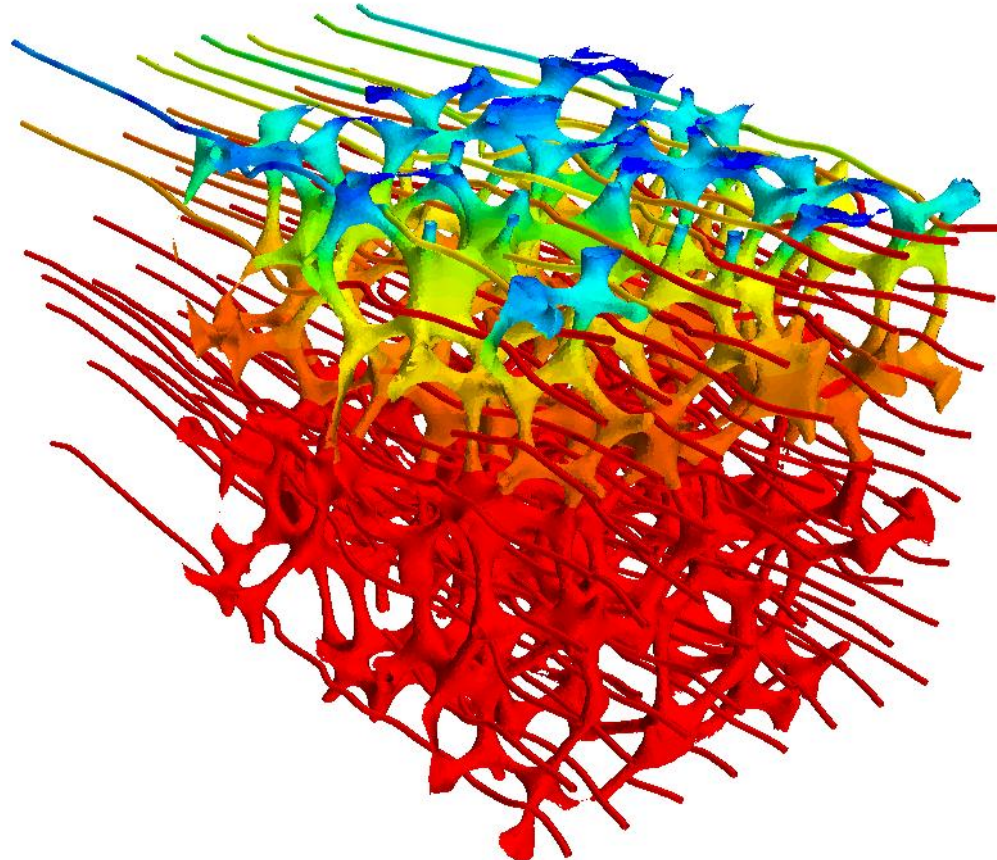
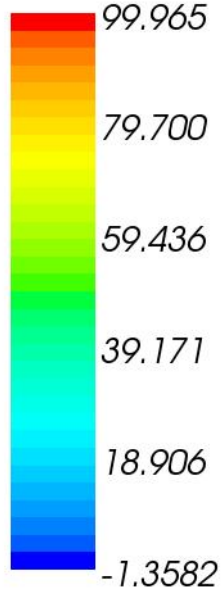


Drop in throat

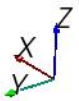
Lignes de courant



Temperature (C)



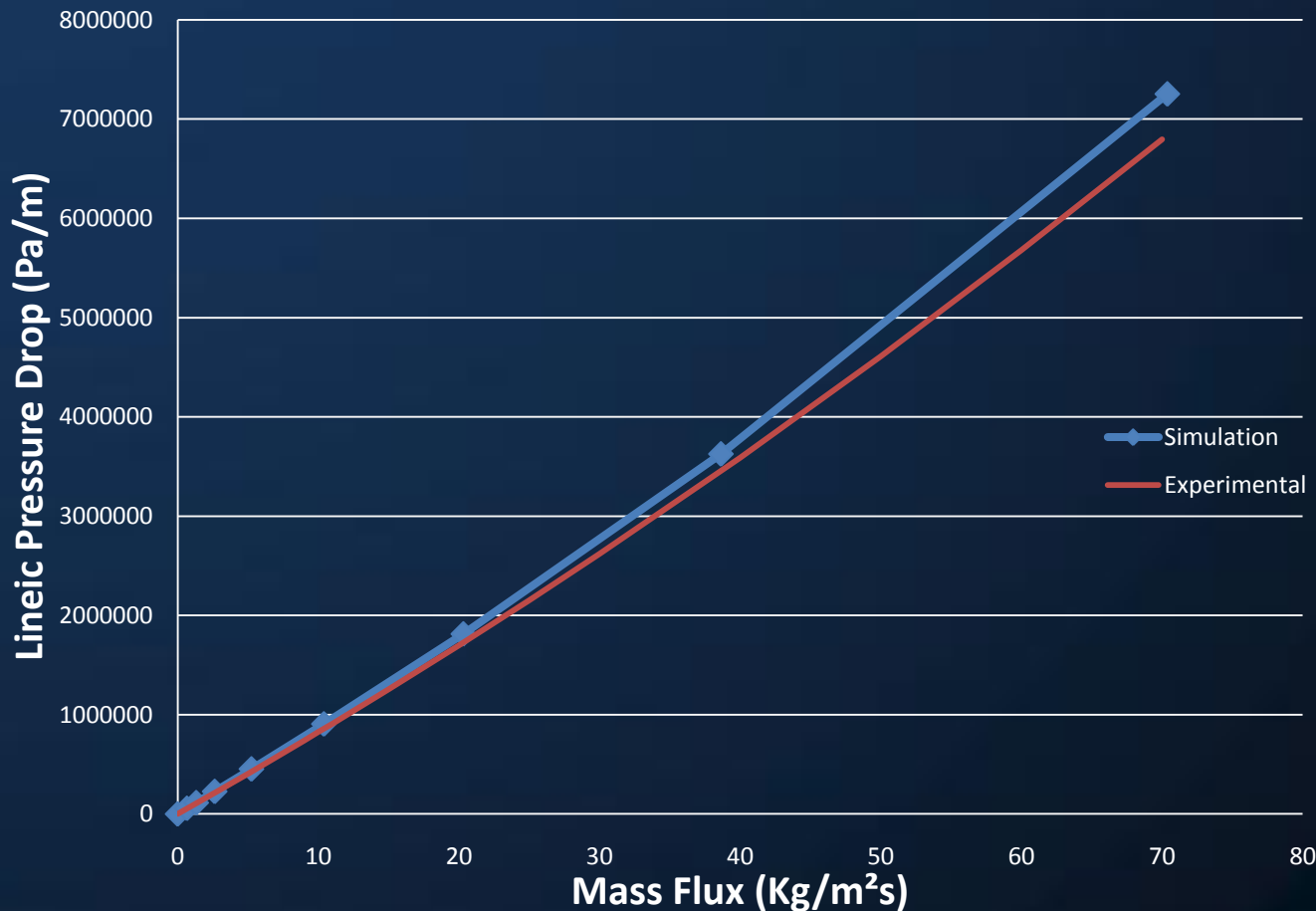
Temperature (K)



Validation : Loi d'écoulement

$$-\frac{dP}{dx} = \frac{\mu}{K} \langle u \rangle + \beta \rho \langle u \rangle^2$$

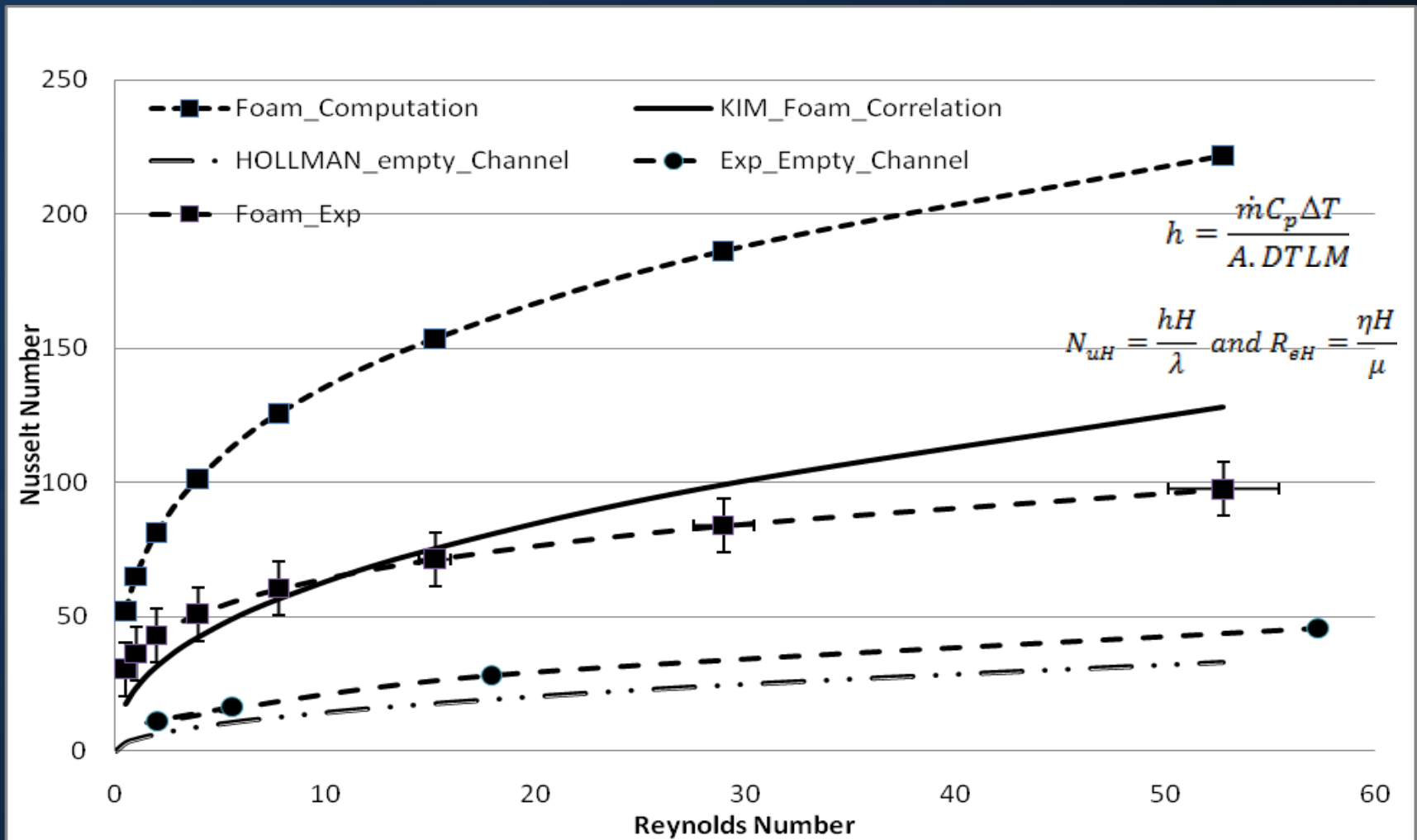
Forchheimer (K permeability, β viscous term)



K
1.39e-7 (Simu)
1.50e-7 (Exp)

β
289 (Simu)
244 (Exp)

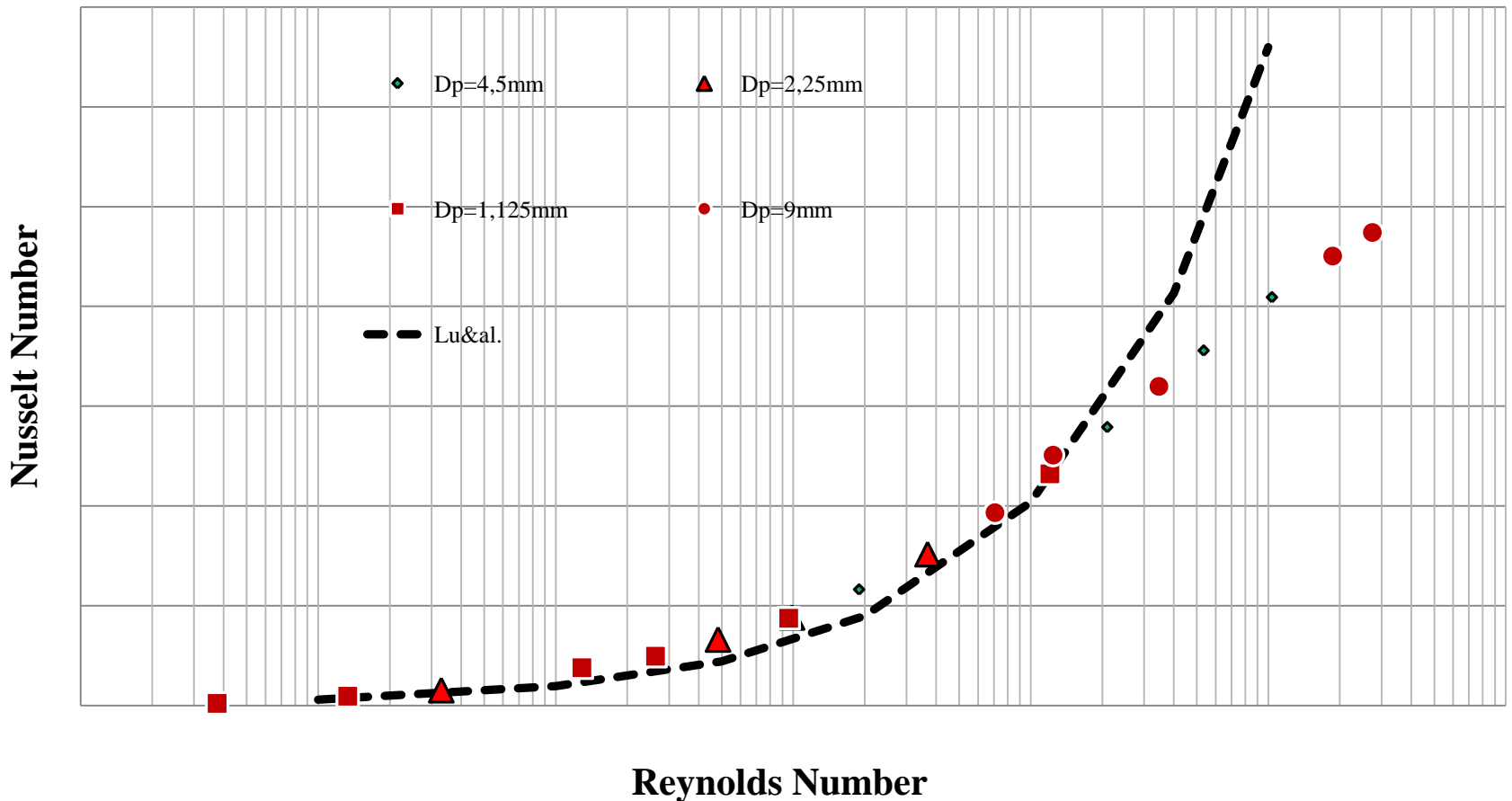
Attention : coefficient d'échange pariétal



Coeff. D'échange pariétal :

- Usuellement données dans la littérature
- dépendant de la géométrie

Coefficient d'échange local



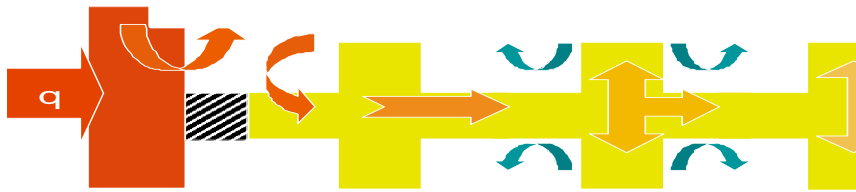
Bon accord avec la littérature (Lu&al.) pour les coeff. D'échange brin/fluide pour les faibles Reynolds

Pour les hauts Re : Effet d'entrée + maillage non adapté

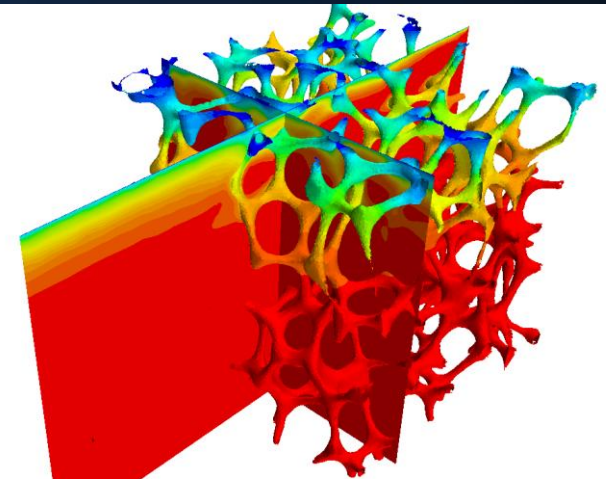
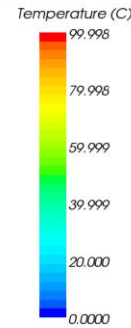
Efficacité d'ailette

Mousse = Ailette en 3D

Nickel : $\lambda=80 \text{ W/mK}$

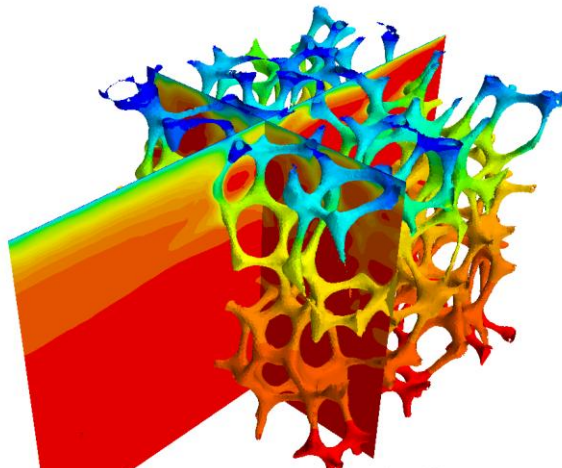
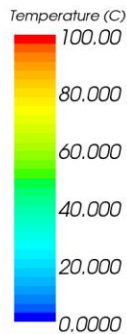


STAR-CCM+



Copper : $\lambda=398 \text{ W/mK}$

STAR-CCM+

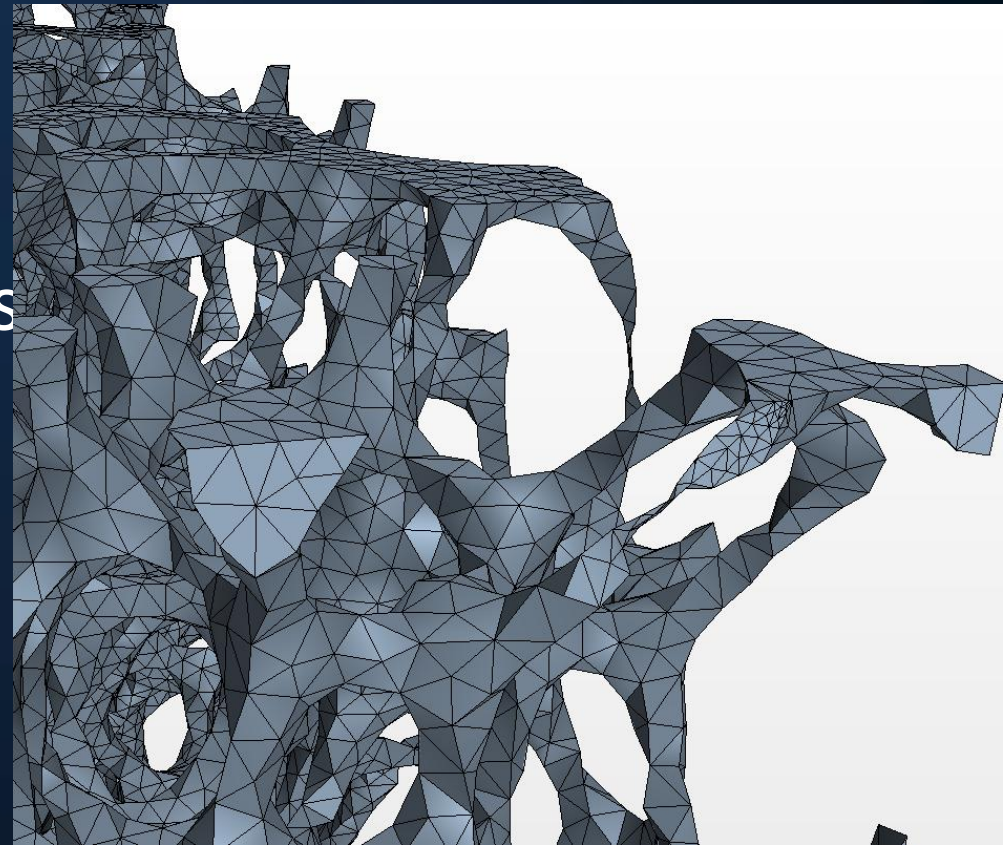


- Détermination de la conductivité Effective du milieu
- Problèmes liés au maillage

Premier maillage

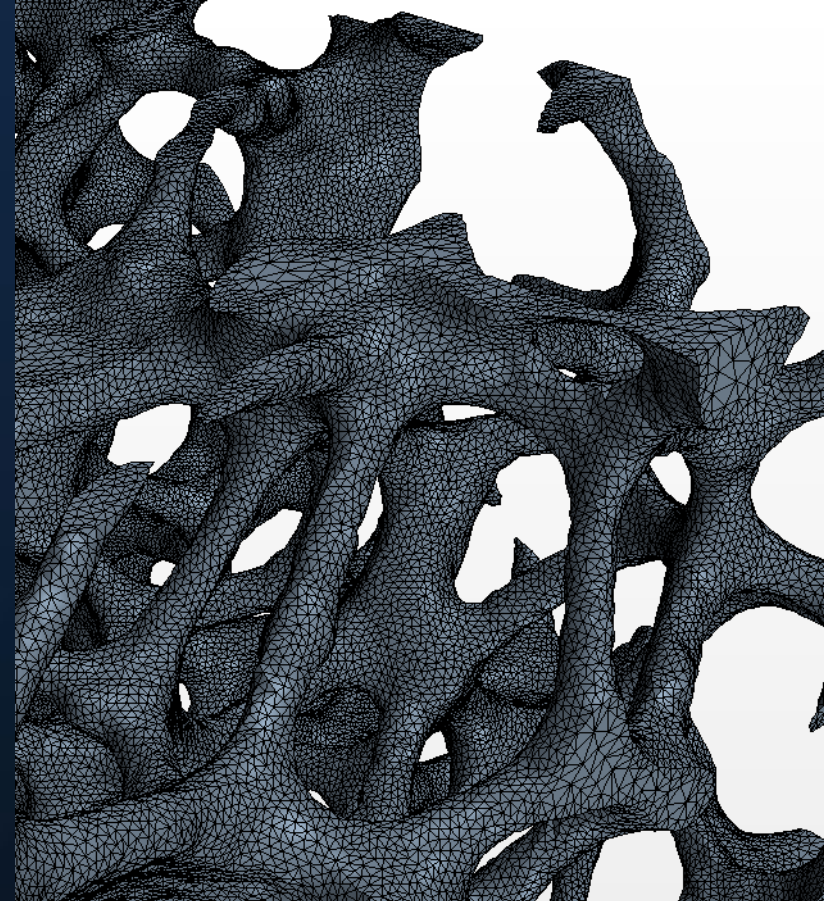
- 45 mm arête
- résolution initiale d'image 150 μm
- Taille de maille 700 μm \rightarrow 2 500 000 cellules

- erreurs géométriques
- Brins coupés
- Perte de matière up to 5 %
- Perte de forme

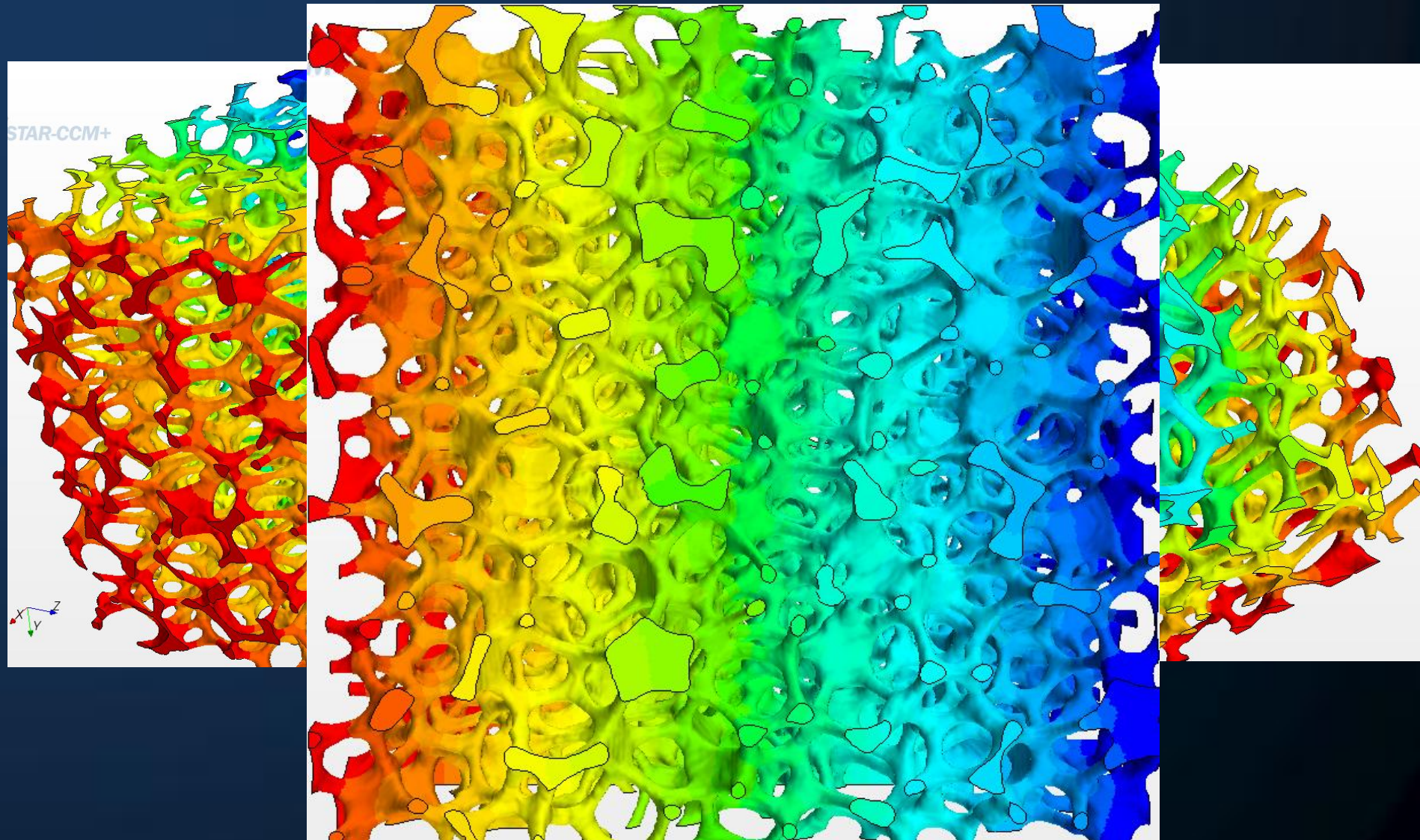


Un « Bon » maillage ;-)

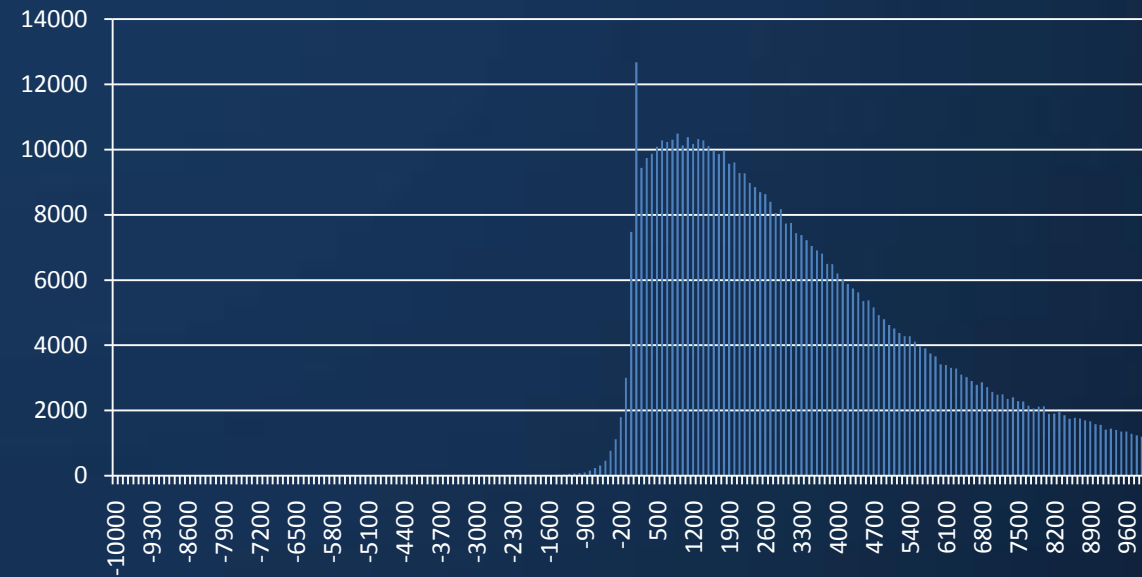
- 15 mm arête
- résolution initiale d'image 75 μm
- Taille de maille 175 μm \rightarrow 10 000 000 cellules
- Pas de perte d'infos
- Maillage à 350 μm
 - Permet de travailler sur différentes tailles de bocs
 - Discrétisation satisfaisante solution identique au cas + fin



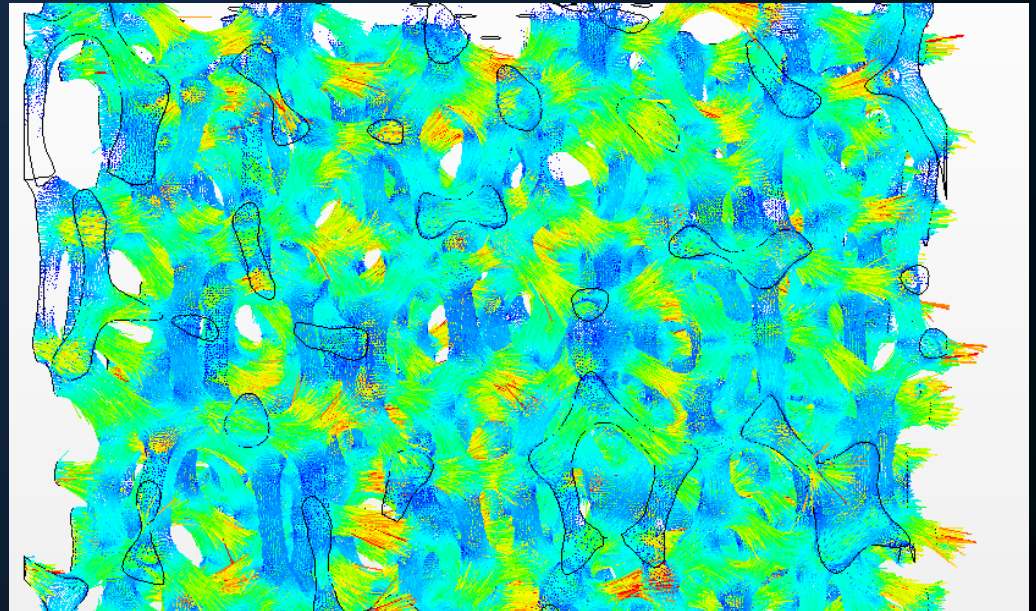
Champs de température



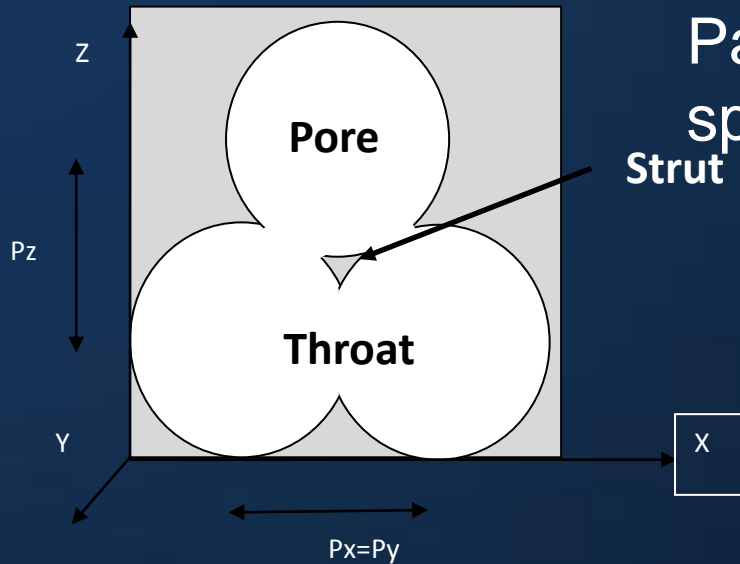
Gradient principal



Distribution des flux principaux :
Loi de Poisson

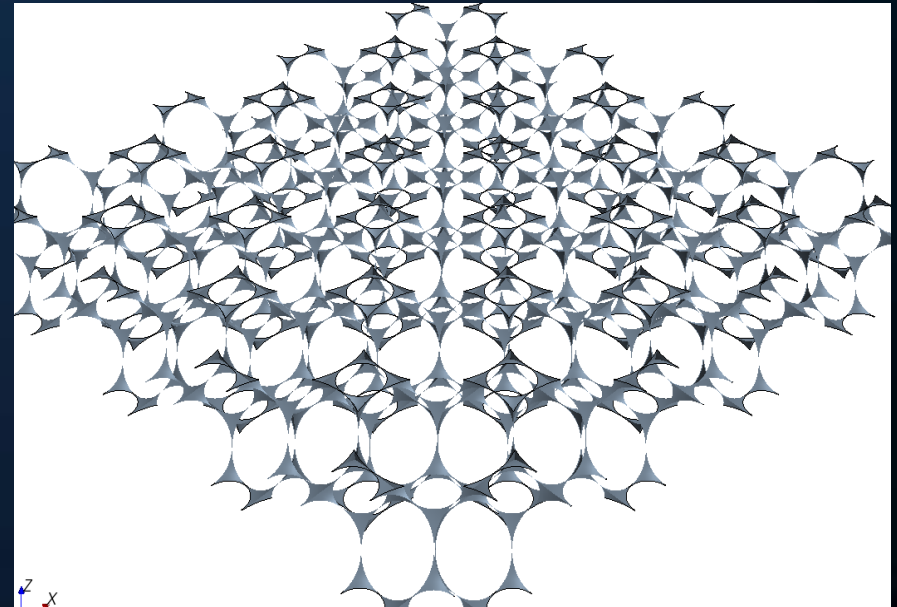


Vers une géométrie optimisée



Packed bed of interconnected spheres :

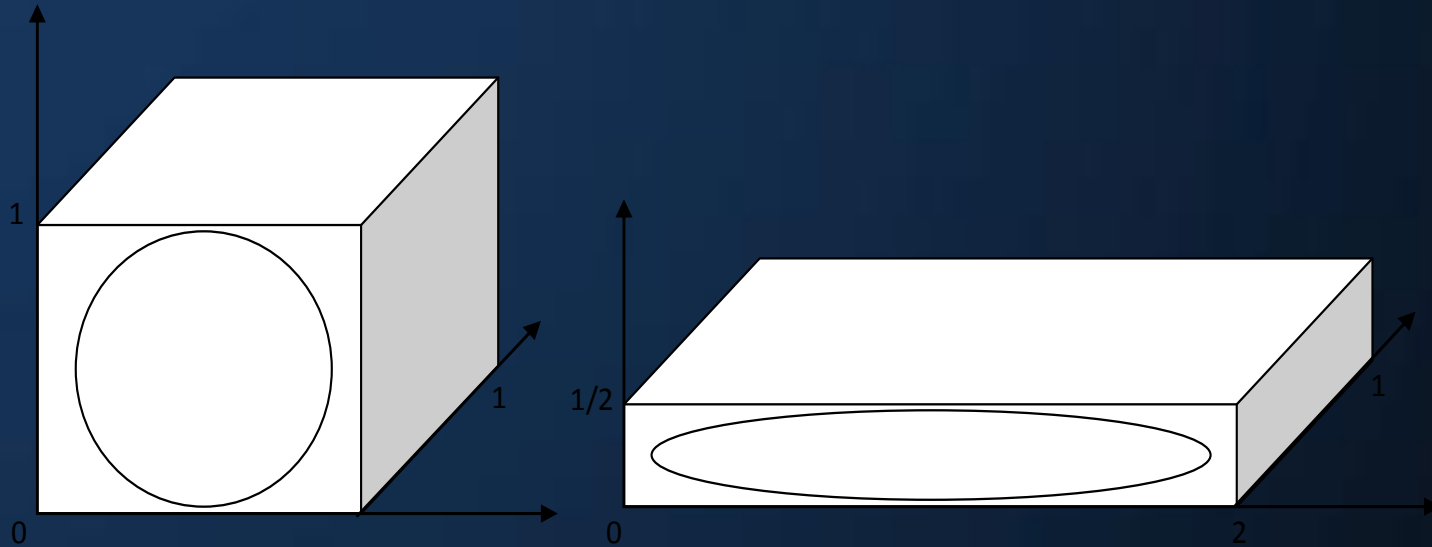
- Spheres diameters
- X, Y and Z pitches



The dual of the packed spheres :

- Pore and Throat diameter
- Porosity

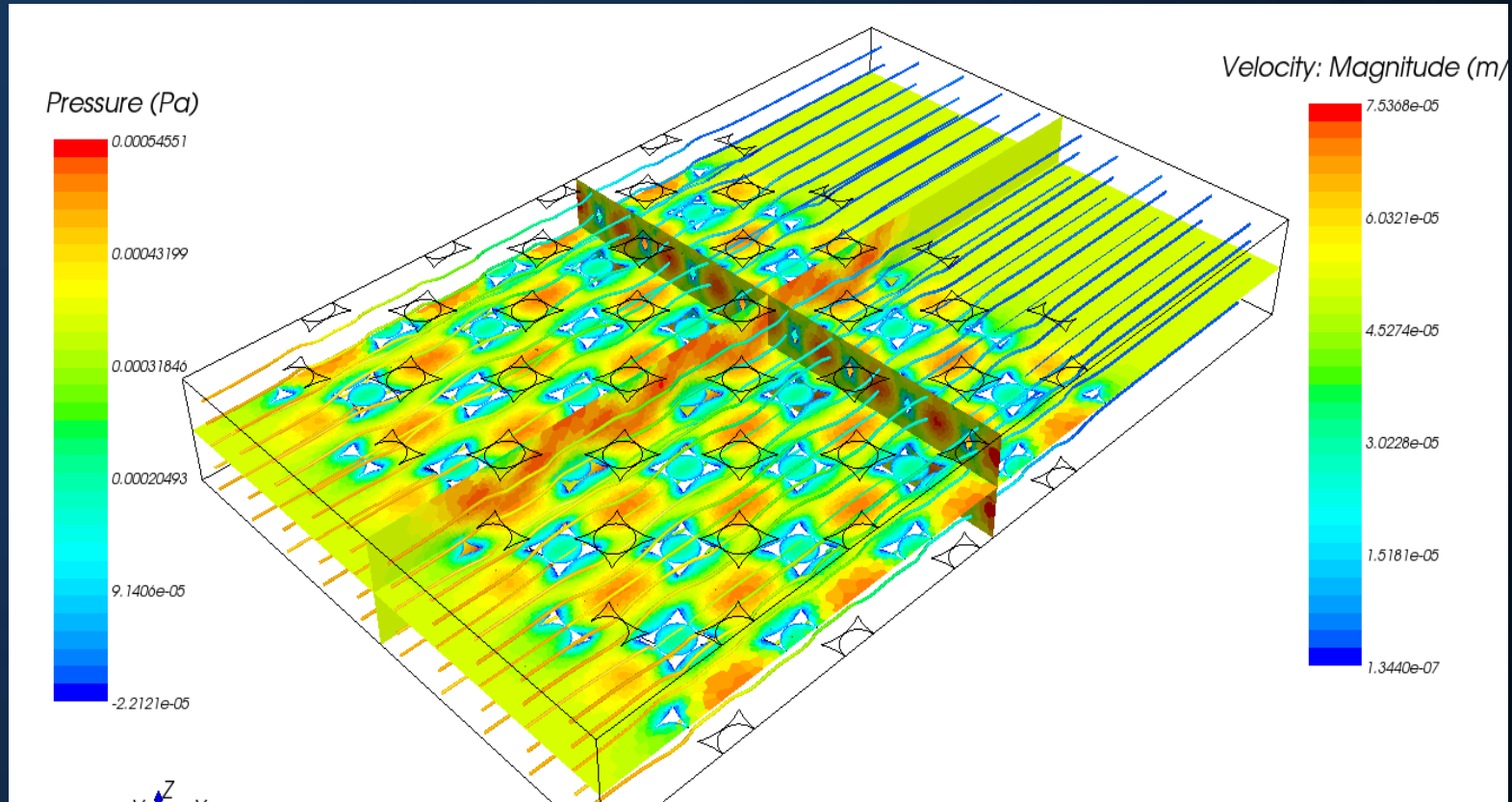
Contrôle de la forme du pore



Numerical scaling = Pore shape stretching :

- Constant mean pore and throat diameters
- Constant porosity
- Control of the pore shape : elongation in each directions

Resultats



From Local Pressure and Velocity Fields to Effectives Properties :

$$-\nabla P = \mu \frac{U}{K} + \rho \beta U^2$$

Forchheimer model :

Modèle Poreux Equivalent

- Loi d'écoulement : Forchheimer

$$\Delta P/l = \mu/K.U + \beta.\rho.U^2$$

- Modèle à 2 températures
 - Paramètres : coeff. d'échange volumique, conductivité effective de chaque phase.
- Détermination des propriétés effectives
 - Simulation directe sur une échelle inférieure
 - Expériences
 - Bases de données

Merci de votre attention.

Jean-Michel HUGO, Doctorant laboratoire IUSTI,
5 rue E. Fermi, technopole Chateau-Gombert,
13453 Marseille Cedex 13, France

Jean-Michel.Hugo@Polytech.Univ-mrs.fr

Tel: +33.4.91.10.69.36

MOTA S.A. ZI les Paluds, 13 Aubagne, France