



HAL
open science

Génération de modèles vasculaires complexes pour la simulation d'écoulements sanguins

Olivia Miraucourt, Stéphanie Salmon, Hugues Talbot, Nicolas Passat

► **To cite this version:**

Olivia Miraucourt, Stéphanie Salmon, Hugues Talbot, Nicolas Passat. Génération de modèles vasculaires complexes pour la simulation d'écoulements sanguins: Résultats de simulation. Journée des Jeunes Chercheurs - SFR CAP-Santé, 2014, Amiens, France. 2014. hal-01695409

HAL Id: hal-01695409

<https://hal.science/hal-01695409>

Submitted on 6 Feb 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Olivia MIRAUCOURT ^a, Stéphanie SALMON ^a, Hugues TALBOT ^b, Nicolas PASSAT ^c

^aUniversité de Reims, LMR ; ^bUniversité Paris-Est, ESIEE, LIGM ; ^cUniversité de Reims, CReSTIC

Objectifs des simulateurs

Objectifs : Mettre à disposition du monde de la santé des outils automatiques de simulation de l'écoulement sanguin dans les vaisseaux pour :

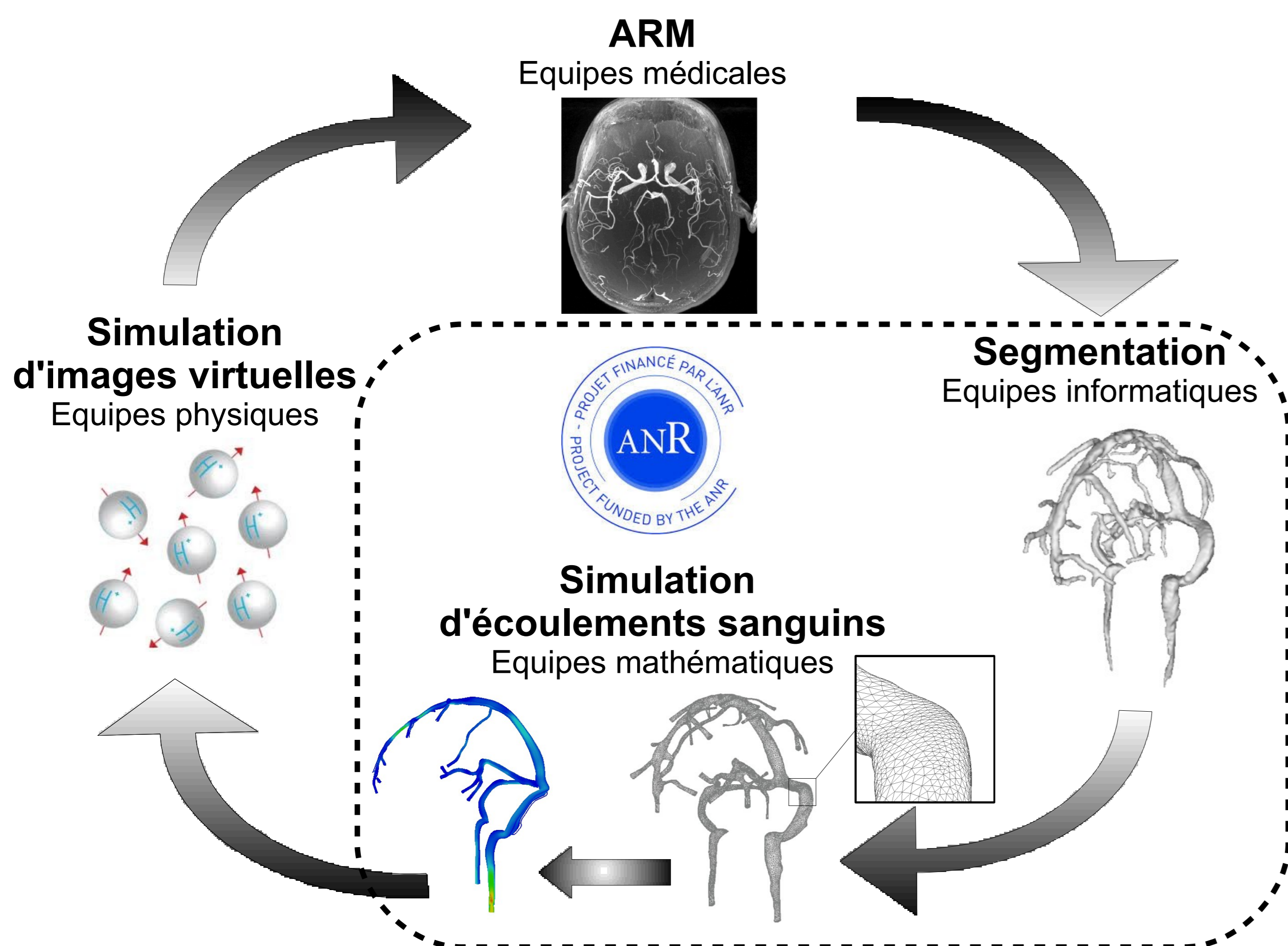
- Aider à la compréhension du développement de certaines maladies vasculaires
- Aider à l'amélioration des diagnostics et des traitements
- Construire des bases de données pour l'aide au diagnostic de certaines maladies ou au pronostic de leur développement

Expérimentation *in silico* !

Difficultés :

- Tendre vers le temps réel
- Prendre en compte la variabilité biologique
- Comment valider ?

Contexte : projet ANR VivaBrain¹



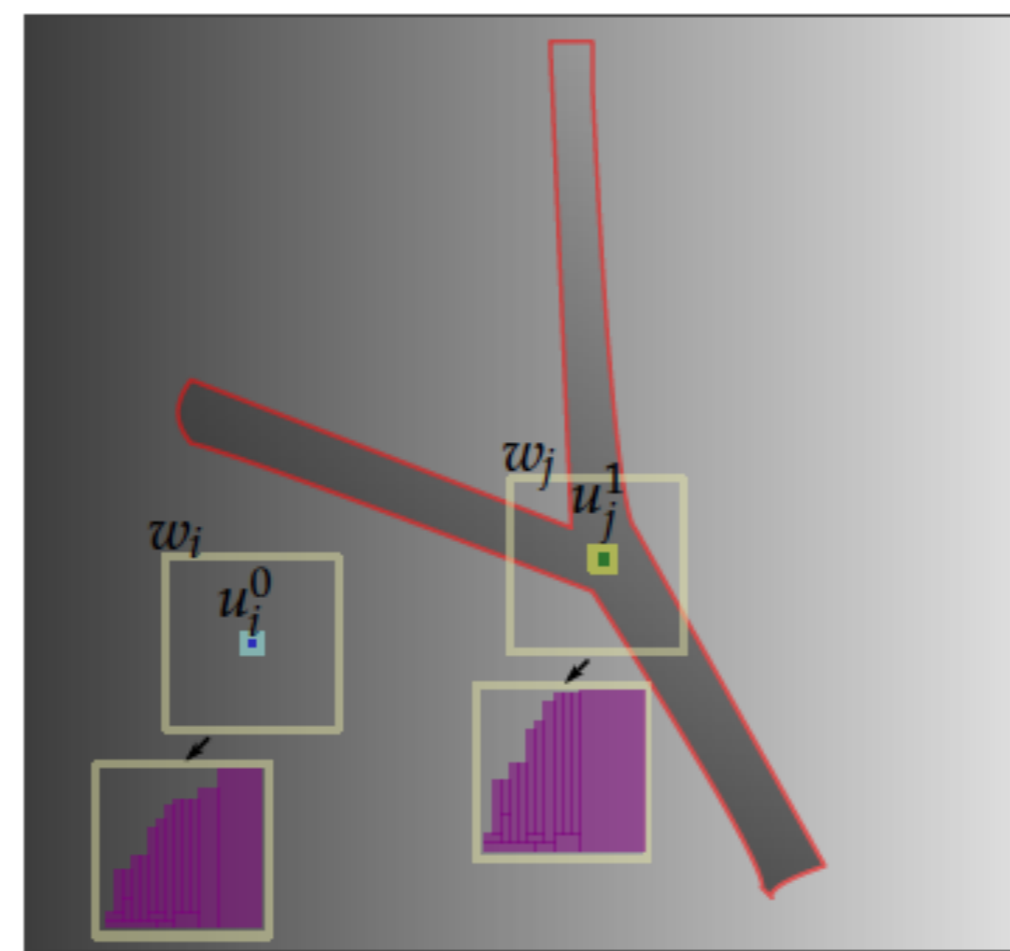
Segmentation : approche variationnelle

Modèle ROF (1992) : minimiser un critère de régularité convexe sous la contrainte que l'image obtenue u soit la plus proche de l'image observée f

$$\inf_{u \in \Omega} \underbrace{\|\nabla u\|}_{\text{Régularité}} + \frac{1}{2} \underbrace{\|u - f\|^2}_{\text{Fidélité}}$$

Modèle développé avec Anna Jezierska :

- Régularité = dérivées premières (gradient) + dérivées secondes (hessienne)
- Fidélité : fonction des centroïdes u_0 et u_1
- A priori de tubularité. Etude de la hessienne = caractéristiques relatives à la forme des objets



Résultats de segmentation

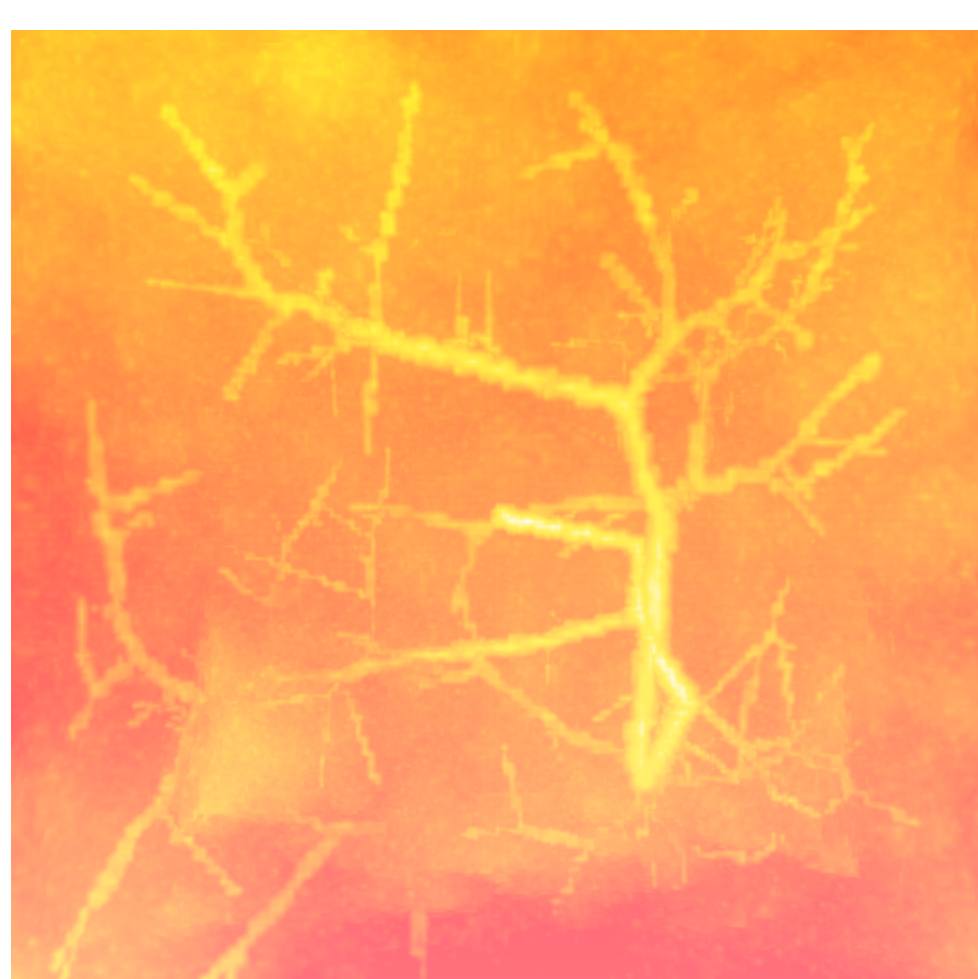
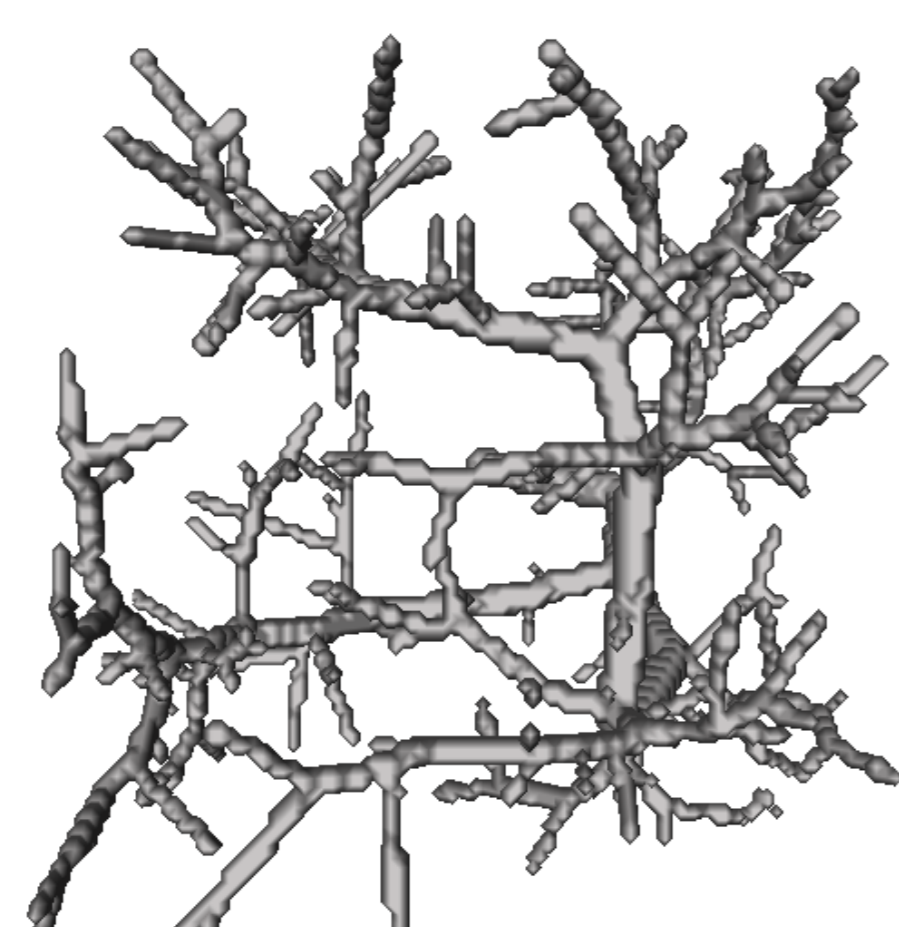
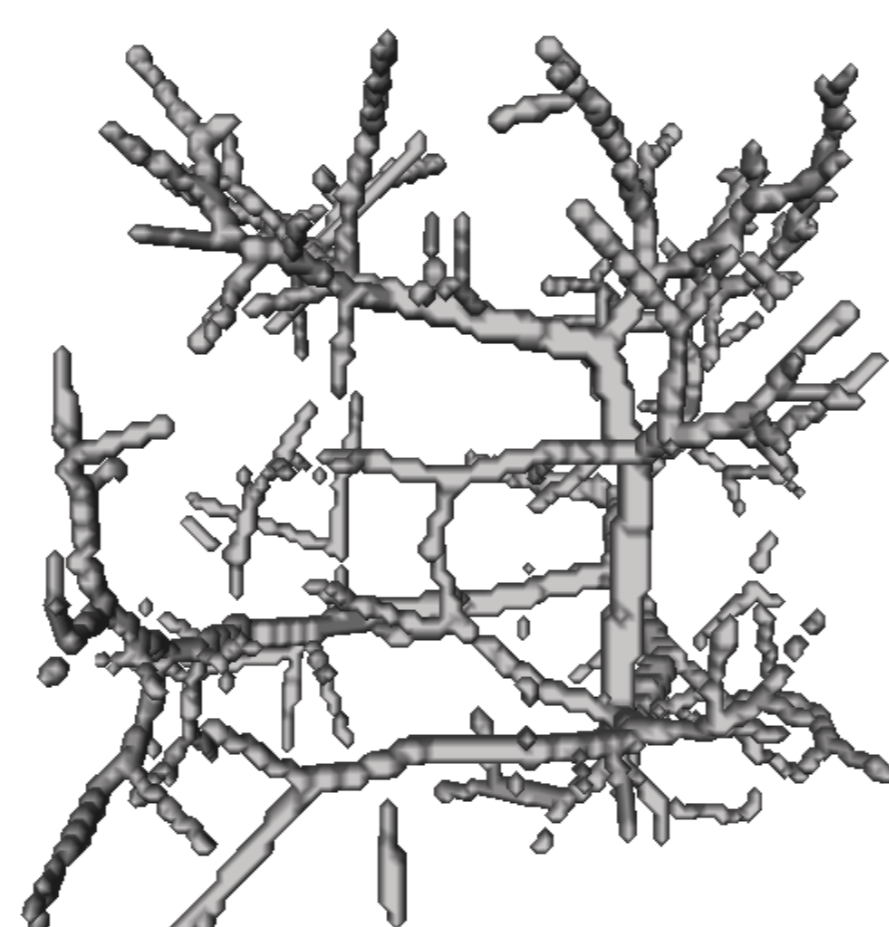


Image originale (MIP)



Vérité terrain



Notre modèle

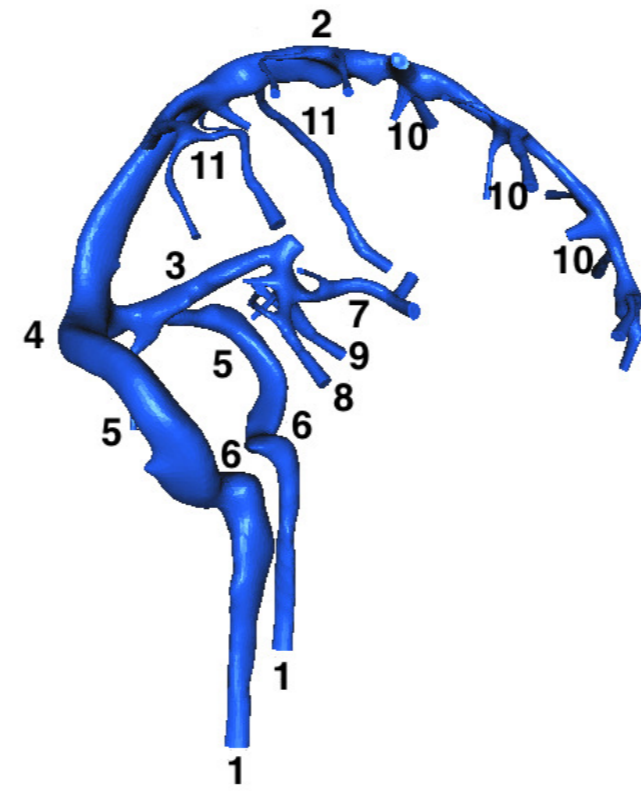
Simulation : modèle mathématique

Hypothèses de travail :

- Sang = fluide homogène incompressible, comportement newtonien
- Interactions fluide-structure négligées

⇒ Equations de la dynamique des fluides incompressibles : **Navier-Stokes**

$$\begin{cases} \rho(\partial_t \mathbf{u} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u}) - \mu \Delta \mathbf{u} + \nabla p = 0 & \text{dans } \Omega \times [0, T] \\ \text{div } \mathbf{u} = 0 & \text{dans } \Omega \times [0, T] \\ \mathbf{u}|_{t=0} = \mathbf{u}_0 & \text{dans } \Omega \\ + \text{Conditions aux limites} & \text{sur } \partial\Omega \end{cases}$$



\mathbf{u}, p : vitesse et pression du fluide
 ρ, μ : densité et viscosité dynamique du fluide

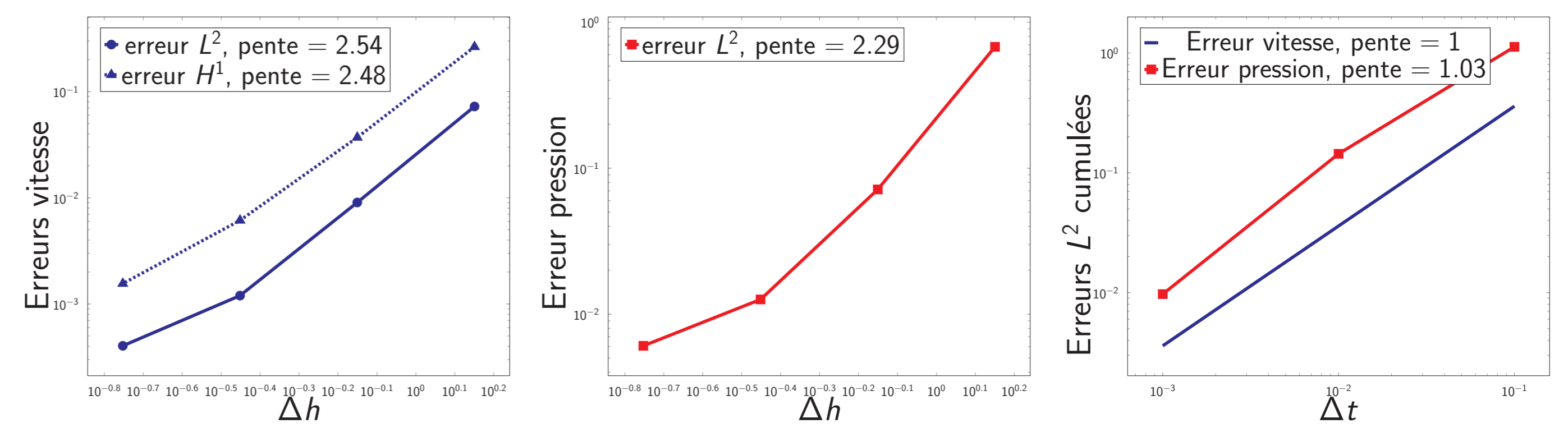
Conditions aux limites :

- Entrée (veines 7 à 11) : vitesse constante $\mathbf{u} = 28\text{mm/s}$
- Paroi : $\mathbf{u} = 0$ (le fluide ne doit pas traverser la paroi)
- Sortie (veines jugulaires 1) : sortie libre

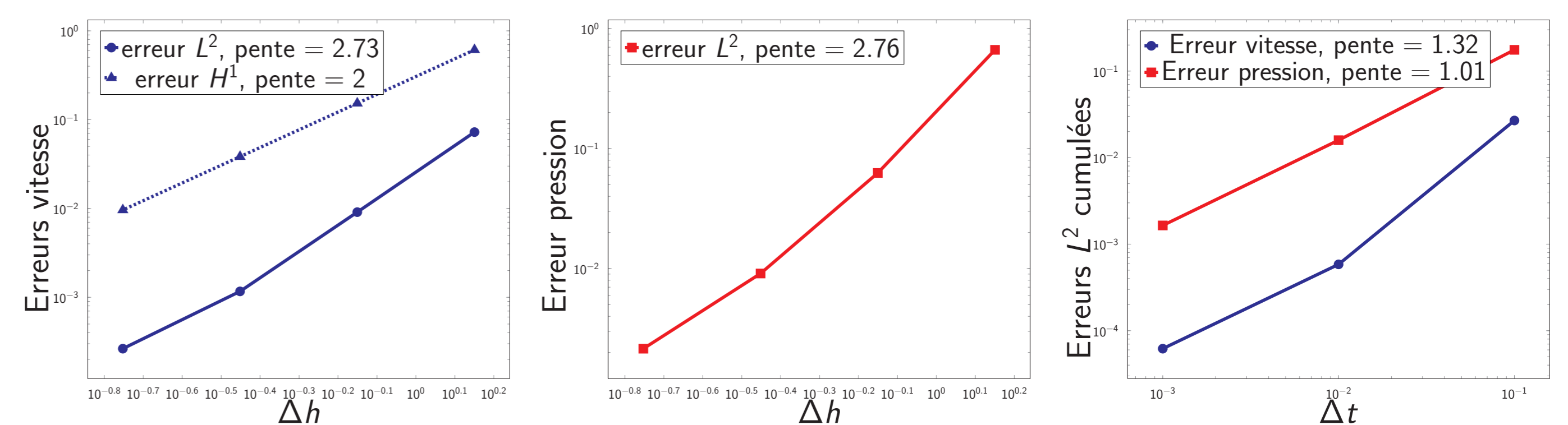
Courbes de convergence pour Navier-Stokes

Validation : Solution exacte d'Ethier-Steinmann définie sur $\Omega = [-1, 1]^3$

• Algorithme 1 : méthode des caractéristiques

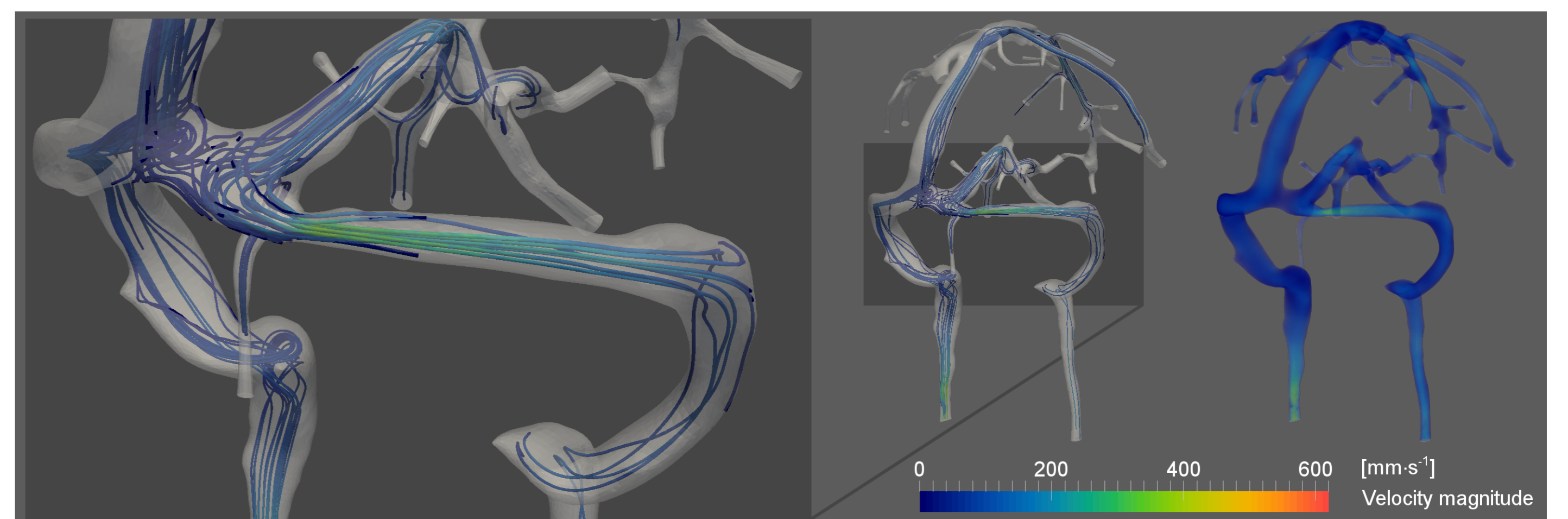


• Algorithme 2 : découplage pression/vitesse



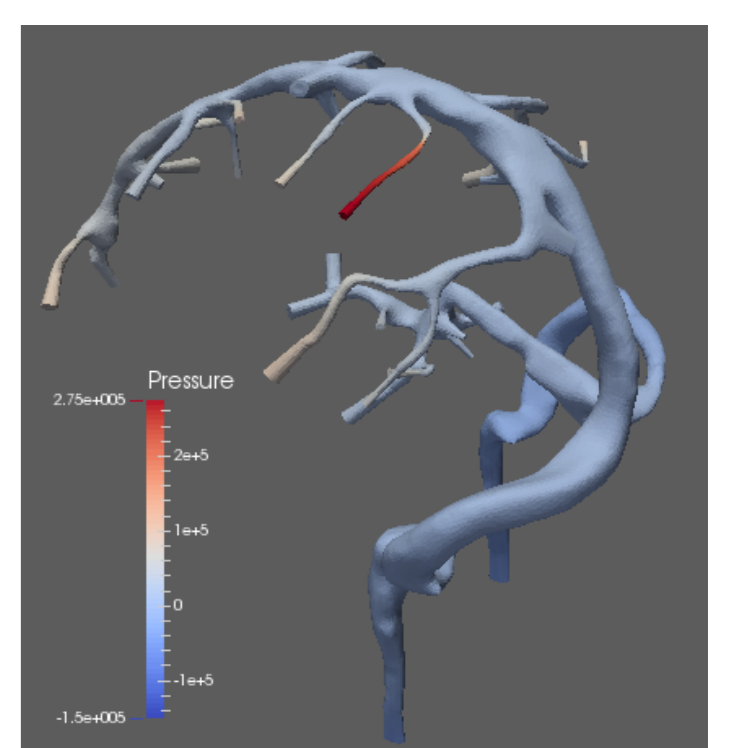
Résultats de simulation

Résultats de l'algorithme 1 obtenus avec le logiciel FreeFem++² sur le calculateur Romeo³ à $T=0,25$ s, itération 250 sur 1000 (1 s = 14 h avec 16 processeurs)



Perspectives

- Conditions aux limites non standards : appel du cœur (condition de Neumann pour la sortie)
- Amélioration de la segmentation : rétrécissement du vaisseau = pression anormalement élevée
- Validation *in silico* : site web avec Simon Garnotel⁴
in vivo : ARM par contraste de phase



¹ <http://vivabrain.fr>

² <http://www.freefem.org>

³ <https://romeo.univ-reims.fr>

⁴ <http://numtourcfd.univ-reims.fr>